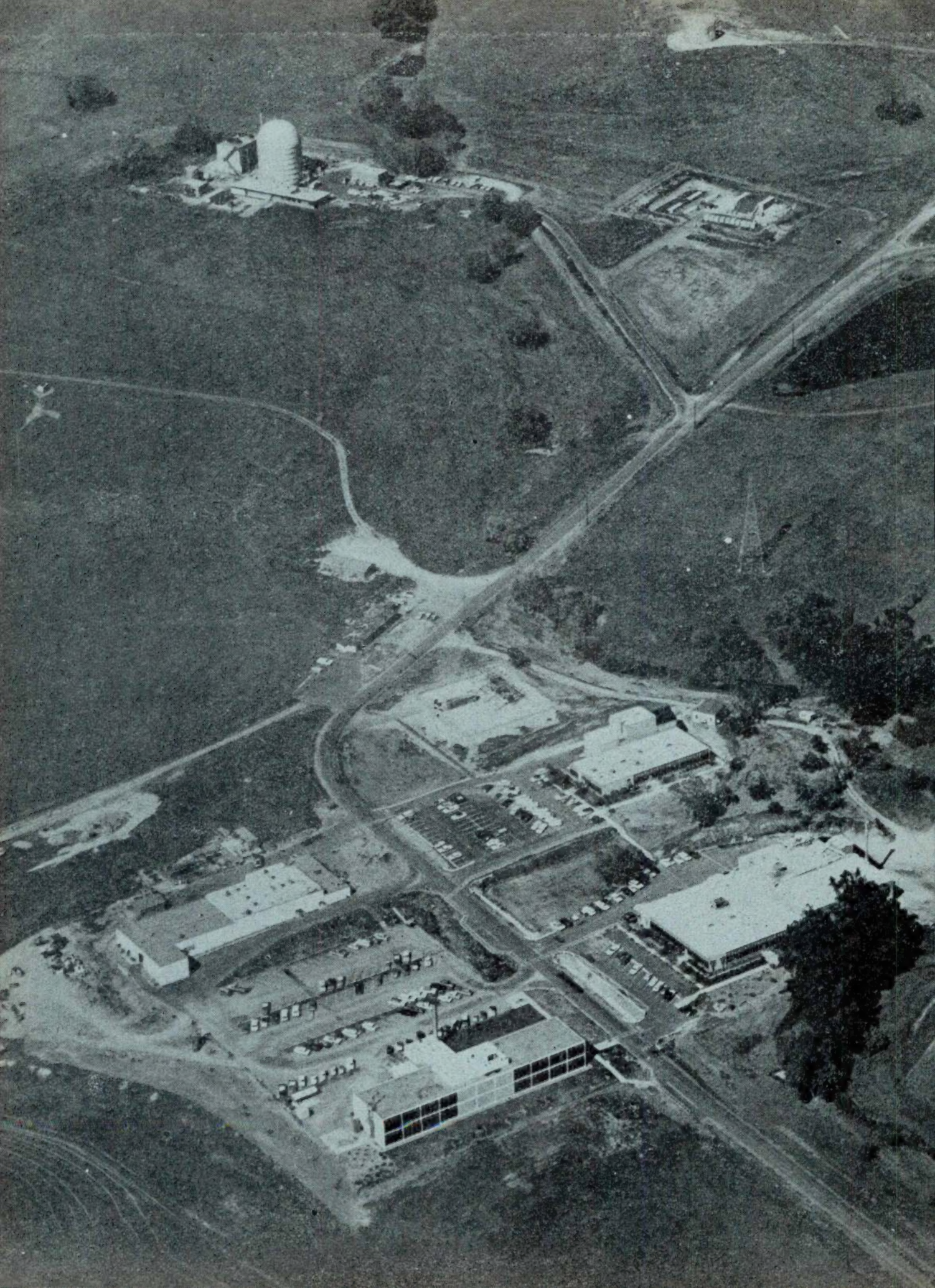


Trabalhos de investigação da General Electric no campo da Energia Atómica: um investimento de muitos milhões de dollars no progresso

O Centro de energia atómica da General Electric, na Califórnia, inclui o Laboratório Atómico de Vallecitos para pesquisas nucleares e as instalações de planeamento, fabrico e organização situadas nas imediações, em San José. No seu conjunto mostram bem a posição da General Electric na vanguarda da indústria atómica... posição esta que permitiu o desenvolvimento do reactor de água fervente, usando como combustível óxido de urânio enriquecido.

As instalações de milhões de dollars, de Vallecitos-San José, creditam decididamente a General Electric como a 1.ª na indústria nuclear, permitindo-lhe assumir inteira responsabilidade desde a concepção até à operação final, duma instalação de energia atómica. Uma organização de mil e seiscentos homens oferece uma larga variedade de serviços e produtos — planifica, desenvolve, aplica e fornece sistemas completos de reactores. Instala, verifica e inicia o funcionamento destes sistemas. E, adicionalmente, prepara combustíveis nucleares, fabrica aparelhagem de controle e todos os acessórios para reactores. Como apoio, existe ainda o pessoal especializado em outros Departamentos de Investigação da General Electric.

A organização do centro de pesquisas de energia atómica para serviço dos clientes e da própria G. E., compreende reactores de ensaio e laboratórios que estudam materiais radioactivos, novos combustíveis e materiais para reactores e planificação de novos núcleos para reactores. Como recursos adicionais devem contar-se ainda com os computadores e pessoal técnico especializado.

Os trabalhos de pesquisa e investigação realizados em Vallecitos e San José são o alicerce do progresso da General Electric no campo da energia atómica. Os seus planos concretizaram-se na montagem das instalações do tipo BWR, em Vallecitos, Dresden, Kahl, Humboldt Bay, Big Rock Point, Garigliano e Bodega Bay. Este trabalho assegura aos clientes que a General Electric garante instalações do tipo BWR até 500 MW, usando como combustível óxido de urânio enriquecido e dotadas das últimas inovações tais como núcleos de elevada potência, sistema eliminador de pressão e separação interna de vapor. Para mais informações, escreva para:

GENERAL ELECTRIC PORTUGUESA

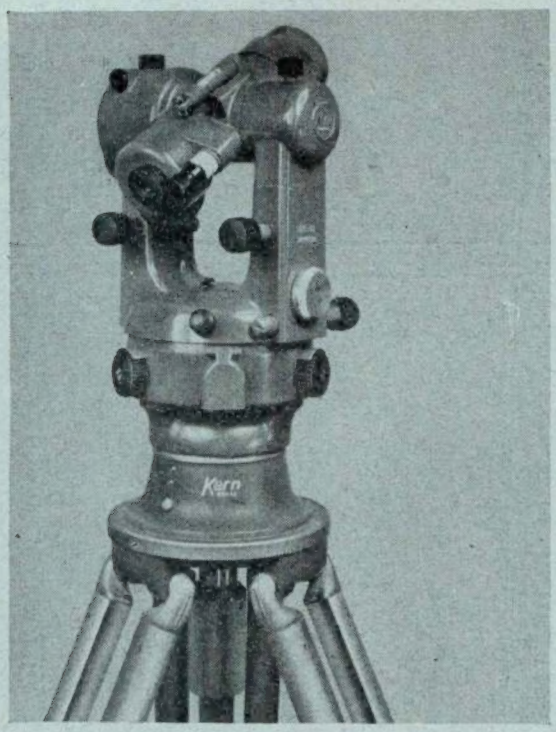
Rua do Norte, 5 Lisboa-1 — Rua Sá da Bandeira, 585 Porto.

◀ O Laboratório Atómico de Vallecitos tem quatro reactores incluindo o BWR e o reactor de ensaio de materiais (GETR) além dos laboratórios de Física Experimental, Materiais radioactivos e Químico-Metalúrgicos. O quinto reactor de Vallecitos — o reactor experimental ultra-térmico ESASA de 8 milhões de dollars — está agora a ser construído.

Progresso é o Nosso Produto Principal

GENERAL ELECTRIC

—USA—



DK_RV

Um novo taqueómetro auto-reductor para mira vertical de maior precisão

Grande precisão: êrro médio de ± 3-5 cm/100 m.
Fácil leitura da mira: nenhuma curva, sòmente dois traços direitos de medição e leitura.
Leitura do circulo: exactidão de minuto sem micrómetro ou exactidão do segundo com micrómetro.
Outras caracteristicas: tripé de centragem, movimento do circulo com fixação expedita, iluminação electrica regulável.

O DK-RV é usado com vantagem sempre que com o emprego da mira vertical se pretende a precisão até hoje não atingida.

Kern & Co. S.A. Aarau Suiça

Representantes para Portugal:
E. de Azevedo Campos & Cia., Lda.
Rua Santo António, 137, Porto
Rua Antero de Quental, 17, Lisboa

Kern SWISS

Moldes deslizantes sistema

«SIEMCRETE»

CONSTRUÇÃO DE

SILOS
PILARES
CHAMINÉS
RESERVATÓRIOS ELEVADOS
CAIXAS DE ESCADA E DE ELEVADORES

Assistência técnica de SIEMENS - BAUUNION G. m. b. H. (Munique)

Licenciados em exclusivo para Portugal:

AGROMECÂNICA, LDA. — Rua Rodrigo da Fonseca, 62, r/c D. — LISBOA 1

Semelhantemente ao que dissemos em 4.2.3, para que este fluxo possa ser composto com o fluxo na zona debaixo dos polos, convém definir dois pontos de «separação» dos dois fluxos. O primeiro dos fluxos referidos, na zona entre polos, é aditivo. Para o cálculo do segundo há que ter em conta a saturação.

Para pontos de «separação» das duas zonas referidas consideraram-se os pontos representados por A e B nas figs. 83, 88, 89 e 90.

Sendo:

$V(A)$ o valor do potencial no ponto A;

$V(B)$ o valor do potencial no ponto B;

V_M o valor médio do potencial no domínio correspondente às bobinas indutoras;

Φ_{MA} o fluxo médio através das bobinas indutoras, em maxwell, referido ao ponto A, na zona da máquina em que o campo é tratado a duas dimensões, zona essa definida por dois planos à distância l (em centímetro);

Φ_{MB} o fluxo médio através das bobinas indutoras referido ao ponto B;

f_{mc} o fluxo do vector densidade de corrente, através de um plano ortogonal ao eixo, associado ao campo magnético em ampere;

tem-se

$$244)\quad \frac{\Phi_{MA}}{f_{mc}\,.\,l} = \left\{\begin{matrix} 2\pi \\ 4\pi \\ 8\pi \end{matrix}\right\}^{(1)} [V_M - V(A)]$$

$$245)\quad \frac{\Phi_{MB}}{f_{mc}\,.\,l} = \left\{\begin{matrix} 2\pi \\ 4\pi \\ 8\pi \end{matrix}\right\}^{(1)} [V_M - V(B)] \quad .$$

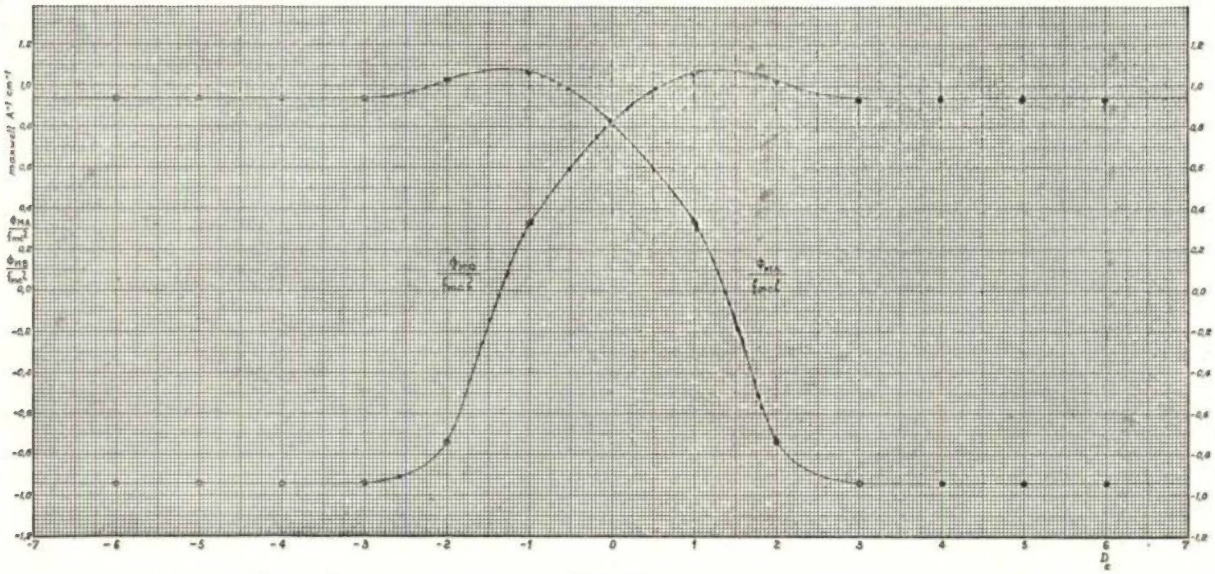


Fig. 96

A partir dos resultados dos ensaios obtiveram-se os valores que se indicam na tabela junta em que se representam $\frac{\Phi_{MA}}{f_{mc}\,.\,l}$ e $\frac{\Phi_{MB}}{f_{mc}\,.\,l}$, em função de D_c, distância angular do eixo da cava ao

(1) De acordo com os dados experimentais, tem-se 2π para $D_c \geqslant 3$ (fig. 83), 4π para $D_c = 0$ (fig. 88) e 8π para $D_c = 1$ (fig. 89) e $D_c = 2$ (fig. 90).

eixo entre polos tomando como unidade o passo dos dentes, contada positivamente no sentido inverso (em relação ao eixo da máquina, e de acordo com as figs. 89 e 90):

Dc	$\frac{\Phi_{MA}}{f_{mc} \cdot l}$ maxwell A^{-1} cm^{-1}	$\frac{\Phi_{MB}}{f_{mc} \cdot l}$ maxwell A^{-1} cm^{-1}
0	0,82	0,82
1	0,33	1,07
2	−0,74	1,03
3, 4, ...	−0,94	0,94

A partir desta tabela traçou-se o gráfico da fig. 96.

(Continua)

Desconto em publicações do L. N. E. C.

Com o fim de divulgar as suas publicações entre os alunos de engenharia, o Laboratório Nacional de Engenharia Civil decidiu conceder um desconto de 50 % sobre os preços marcados na sua lista de publicações a todos os alunos interessados.

Os pedidos devem ser feitos à Divisão de Documentação e Informação do referido Laboratório.

C. D. U. 541.13.001

Convenções de sinal em electroquímica

Potenciais de eléctrodo

CARLOS A. C. RAMALHO CARLOS
Eng.º Químico-Industrial (IST)

1. **Introdução** — Parece de interesse fazer a análise metódica do problema do sinal do potencial de eléctrodo, dado tratar-se dum assunto que se presta frequentemente a confusões, principalmente por existirem duas convenções opostas, as quais por enquanto [1], continuam ambas bastante usadas — convenção europeia e convenção americana.

2. **Convenções consumadas** — Há um certo número de convenções que muitas vezes se aceitam tàcitamente, por serem de aceitação geral, mas que convém destacar aqui.

Assim: Em Termodinâmica, quando se faz referência à variação $\Delta \Phi$, duma função de estado, Φ, dum sistema que sofre uma transformação, subentende-se que se quer referir a diferença: Φ (estado final) — Φ (estado inicial).

É dentro deste hábito que, em Química, se interpreta a variação, ΔG, do potencial termodinâmico a pressão constante, G, dum sistema químico em que se realize uma reacção química. Mas, como uma reacção química se costuma representar por uma equação do tipo

$$\text{Reagentes} \rightleftarrows \text{Produtos}$$

em que se reserva o 1.º membro para as entidades que se designam por reagentes [2], nestas condições, o próprio significado das palavras «reagente» e «produto» torna lógico que se interprete a variação ΔG como segue:

ΔG = G (produtos formados) — G (reagentes consumidos) ou seja ΔG, será a variação de G, quando o sistema evolui no sentido directo de uma unidade de reacção [1], entendendo-se por sentido directo aquele que decorre da escolha convencional dos reagentes (isto é: Reagentes $\longrightarrow$ Produtos).

3. **Convenções peculiares à Electroquímica** — Em Electroquímica resulta naturalmente necessário pôr em destaque os electrões livres, cuja intervenção é imprescindível na realização das reacções de eléctrodo.

1.ª opção — Aqui surge a primeira opção a fazer quanto à convenção a adoptar, pois os electrões tanto podem ser englobados no conjunto dos reagentes, como no dos produtos:

Convenção A) Reagentes + n e $\rightleftarrows$ Produtos.
Convenção B) Reagentes $\rightleftarrows$ Produtos + n e.

Note-se que as formas de escrever:

Reagentes $\rightleftarrows$ Produtos — n e
Reagentes — n e $\rightleftarrows$ Produtos

são perfeitamente equivalentes a A) e B) respectivamente.

2.ª opção — Seguindo as convenções já consumadas (alínea 2) pode considerar-se a variação, ΔG, do potencial termodinâmico a pressão constante, isenta de ambiguidade desde que se indique qual a convenção escolhida na escrita da reacção de eléctrodo (A ou B). Porém, ao definir

(1) Note-se que a convenção europeia tende a ser universalmente aceite em virtude da deliberação tomada pela Comissão Internacional de Termodinâmica e Cinética Electroquímica.

(2) Ou 1 dedonder (Técnica 303, pág. 495).

(1) Mesmo que a reacção seja reversível; neste caso, considerando as duas reacções inversas separadamente, os papéis de reagente e de produto alternam-se, mas há, evidentemente, necessidade de atribuir a designação, embora convencional, de reagentes, a algum dos conjuntos de substâncias inter-actuantes (para poder fixar ideias).

o potencial de eléctrodo, E, fica-se vinculado a nova convenção, já que se pode optar por:

$$\text{Convenção I:} \quad \Delta G = +nFE$$
$$\text{Convenção II:} \quad \Delta G = -nFE$$

Repare-se que, em qualquer dos casos, E é proporcional a ΔG e, por isso, o potencial de eléctrodo, tal com ΔG, permite caracterizar a espontaneidade (teórica, pelo menos) da reacção escrita.

4. Resultado nefasto da aceitação tácita de convenções, quando tal aceitação se faz de modo inconsciente: A confusão.

Infelizmente, na literatura encontram-se, por vezes, trabalhos em que ficam implícitas de forma tácita ou mesmo ambígua, qualquer das combinações que é possível fazer com as convenções expostas, designadamente: A-I; A-II; B-I; B-II.

Repare-se, no entanto, que, visto que qualquer das opções põe em causa o *sinal de E*, resultam equivalentes (por duas trocas de sinal se compensarem) as convenções:

A-I equivalente a B-II
A-II equivalente a B-I

As convenções chamadas «americana» e «europeia» podem agora distinguir-se com clareza:

Convenção europeia: Corresponde a adoptar: A-II (ou B-I)
Convenção americana: Corresponde a adoptar: B-II (ou A-I)

Raciocinando sem precaução, ou demasiado ràpidamente, podem cometer-se, por exemplo, duas trocas de sinal, que se compensam e conduzem a conclusões certas; a seguir, porém, pode reparar-se em alguma das incoerências cometidas e (visto que, num raciocínio menos cuidadoso, é provável que não se tenha presente que estão sempre em causa *as duas opções* referidas e não uma só) não se compreende logo por que razão o resultado tem o sinal trocado; e, daí em diante, pode multiplicar-se a confusão, já que as próprias convenções consumadas poderão, em face de tal situação, ser postas em dúvida.

5. Método seguro para evitar tal confusão: Análise detalhada das convenções adoptadas por cada autor (ou em cada caso concreto) e seu enquadramento na discussão geral apresentada: A, B; I, II.

Analisando a forma como se escreveu a reacção química, conclui-se se se optou por A ou B.

Em seguida, indagando qual a fórmula utilizada na definição de E a partir de ΔG, vê-se se se escolheu I ou II.

Se se cair num dos casos A-II ou B-I conclui-se que estamos em presença dum trabalho em que o sinal do potencial de eléctrodo obedece à convenção europeia; e vice-versa.

Exemplo: Veja-se como a aceitação de um par de opções bem definido, seja A-II, permite tirar conclusões isentas de qualquer ambiguidade, quanto à espontaneidade (teórica) da reacção, em face do valor algébrico do potencial de eléctrodo, E, correspondente.

Com efeito, A indica que se escreveu a reacção assim:

$$\text{Reagentes} + n\ e \rightleftarrows \text{Produtos}$$

Por outro lado, II indica que

$$\Delta G = -nFE$$

Ora, seguindo as convenções consumadas (2.), a reacção:

$$\text{Reagentes} \longrightarrow \text{Produtos}$$

é espontânea se $\Delta G < 0$.

Portanto, conclui-se que a reacção

$$\text{Reagentes} + n\ e \rightleftarrows \text{Produtos}$$

e espontânea se $\Delta G < 0$, ou seja [1], se $E > 0$.

Mas, visto que n é um número positivo, a reacção em causa é uma redução (ganho de electrões).

Quer dizer, segundo a convenção definida pelo par de opções A-II (que é a «europeia»), quando $E > 0$ a reacção espontânea é a de redução.

Esta conclusão permite fàcilmente ver qual a convenção segundo a qual está elaborada uma tabela de potenciais de eléctrodo, recorrendo a casos conhecidos. Assim, por exemplo, tendo

[1] No que se disse atrás, pressupõe-se, evidentemente, que n é um número aritmético, portanto, sempre positivo

presente que o ião cúprico, Cu^{+2}, tem tendência (nas condições de referência) a reduzir-se espontâneamente, pois que fica positivo um eléctrodo de cobre mergulhado numa solução de Cu^{+2} nas condições de referência (admitidas para a elaboração das tabelas), se a tabela mencionar como potencial do eléctrodo Cu/Cu^{+2} um número positivo pode concluir-se que está elaborada de forma a respeitar o sinal da convenção europeia.

6. Reflexo da convenção adoptada na forma da equação de Nernst

A mudança de sinal de E entre as duas convenções reflecte-se na equação de Nernst para os potenciais de eléctrodo.

Com efeito, se se definir (para fixar ideias) a convenção europeia por A-II e a convenção americana por B-II, ter-se-à: [1]

$$\Delta G = -n F E$$

Convenção europeia:

$$M^{n+} + n\ e \rightleftarrows M$$

donde [2]

$$E = E_o + \frac{RT}{nF} \ln (M^{n+})$$

Convenção americana:

$$M \rightleftarrows M^{n+} + n\ e$$

donde

$$E = E_o - \frac{RT}{nF} \ln (M^{n+})$$

Porém, visto que o sistema em estudo é o mesmo, a lei tem de ser a mesma, e é-o, pois que sendo os EE e os $E_o E_o$ simétricos entre si o valor absoluto do potencial de eléctrodo é igualmente afectado pela variação da actividade do ião; e, realmente, esse valor absoluto é que tem significado próprio e portanto nunca poderia depender das convenções.

7. Considerações finais

Para terminar vai procurar-se interpretar, dentro do enquadramento geral que se procurou dar ao problema, outras críticas feitas sobre este assunto, à primeira vista opostas, mas cuja contradição é apenas aparente.

Assim: — Nas folhas de Electroquímica do I. S. T., atribui-se a diferença de sinal de E, nas duas escolas, à diferença de escrita (A ou B) considerando-se consumada a definição segundo II. Quer dizer, considera-se:

a «escola europeia» correspondendo a A-II, e
a «escola americana» correspondendo a B-II,
(utilizando a nomenclatura atrás definida).

Por seu turno: — O artigo «Convenções de sinal em electroquímica», que traduzimos do número de Outubro de 1956 da revista «Metallurgia» e que figura na Técnica n.º 297, págs. 186-8, segue o caminho oposto. Considera que a diferença resulta de a convenção europeia adoptar I, enquanto a americana adopta II, e admite que ambas as escolas escrevem a reacção da mesma maneira (B). Quer dizer, considera:

«Escola europeia»: B-I
«Escola americana»: B-II.

Na realidade estas duas maneiras de explicar caem perfeitamente dentro do que foi exposto atrás, já que A-II e B-I conduzem ao mesmo sinal para o potencial de eléctrodo.

8. **Agradecimento** — O autor agradece as sugestões feitas pela Ex.ma Sr.a Eng.a Isabel Maria Meleças Gago (Assistente do I. S. T.) as quais reflectiram o amável cuidado que pôs na revisão deste trabalho.

BIBLIOGRAFIA

Técnica n.º 297, pág. 186-8.

(1) Escolhendo, por exemplo, o caso dum catião (para o caso dum anião poder-se-ia fazer raciocínio análogo).
(2) Não se faz a dedução para simplicidade.

RESUMO

Realçam-se as precauções a tomar pelo facto de o sinal dos valores de potencial de eléctrodo ser duplamente convencional.

ABSTRACT

The existence of two conventions which together determine the sign of the electrode potencial values is emphasized.

C. D. U. 621.311.5/9

Elementos sobre a produção e o consumo de energia na rede eléctrica nacional

— Elementos extraídos das estatísticas mensais do Repartidor Nacional de Cargas (R. N. C.)

NOTA: *As produções e os consumos das empresas do R. N. C. representam cerca de 94 % dos totais do País.*

I — Breve nota mensal

No aspecto hidrológico, o mês de Maio apresentou-se, no conjunto, bastante abaixo da média.

II — Elementos gerais (GWh)

a) Mensais

	1962	1963	Variação %
Produção hidráulica (P_h) . . .	302,9	332,1	+ 10
Produção térmica (P_t)	0,0	0,0	0
Produção total (P_T)	302,9	332,1	+ 10
Exportações (Ex)	0,0	0,0	0
Importações (I)	0,0	0,0	0
Produção para consumos não perman. (P_{cnp})	68,4	78,1	+ 14
Produção para consumos permanentes (P_{cp}) (1)	234,5	254,0	+ 8,3 (2)
Coeficiente de hidraulicidade	0,84	0,90	—

b) Acumulados desde 1 de Janeiro

	1962	1963	Variação %
Produção hidráulica (P_h) . . .	1531,5	1736,7	+ 13
Produção térmica (P_t)	6,0	18,9	+ 215
Produção total (P_T)	1537,5	1755,6	+ 14
Exportações (Ex)	0,0	32,8	—
Importações (I)	0,0	0,1	—
Produção para consumo não perman. (P_{cnp})	321,8	362,3	+ 13
Produção para consumos permanentes (P_{cp}) (1)	1215,7	1360,6	+ 11,9 (2)
Coeficiente de hidraulicidade	1,17	1,49	—

NOTAS:

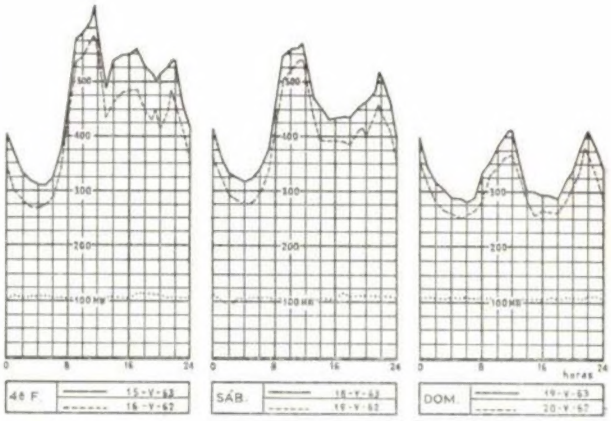
(1) A produção para consumos permanentes (P_{CP}) é determinada pela seguinte expressão: $P_{CP} = P_T - P_{cnp} + 1 - E_X$

(2) O aumento percentual de produção para consumos permanentes, tendo em conta a incidência dos domingos e dias especiais, é respectivamente de 7,3 % e 1,08 %.

III — Diagramas de carga dos dias característicos

			4.ª teira: 1962	4.ª teira: 1963
Produção hidráulica		(P_h) MWh	10227	11495
Produção térmica		(P_t) MWh	0	0
Produção total		(P_T) MWh	10227	11495
Trocas com Espanha	Export.	(Ex) MWh	0	0
	Import.	(I) MWh	0	0
TOTAL		$P_T + (I - Ex)$ MWh	10227	11495
Prod. para cons. perm.		(P_{cp}) MWh	8147	9066
Prod. para cons. não perm.		(P_{cnp}) MWh	2080	2429
Características dos diagramas	$P_T + (I-Ex)$	Potência máx. MW	581,5	637
		Potência mín. MW	266,5	310
		Utiliz. da ponta horas	17,6	18,0
		Factor de carga	0,73	0,75
	P_{cp}	Potência máx. MW	486	531
		Potência mín. MW	174	203
		Utiliz. da ponta horas	16,8	17,1
		Factor de carga	0,70	0,71

MAIO



IV — Energia armazenada nas principais albufeiras

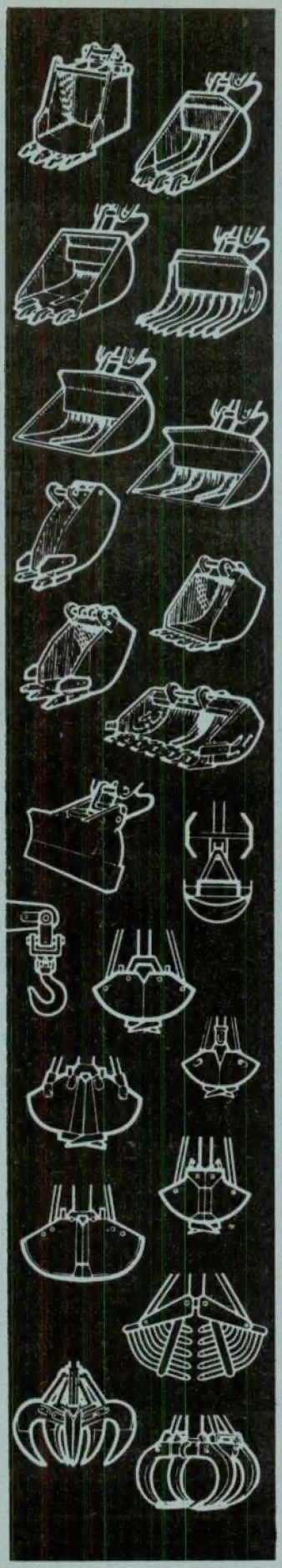
Albufeiras:	No fim do mês: GWh	No fim do mês: % (1)
Paradela	221,7	99,6
Venda Nova	127,9	99,9
Salamonde	27,2	98,6
Caniçada	33,0	99,7
Cabril	322,3	95,0
Castelo do Bode	163,0	100,0
Guilhofrei	7,8	94,0
Lagoa Comprida	30,4 (2)	92,9
Santa Luzia	61,2	99,4
Pracana	11,1	86,0
Póvoa	12,7 (3)	97,1
Total . . .	1018,3	97,6

Notas:

(1) Coeficiente de enchimento em energia das albufeiras.

(2) Inclui 3,1 GWh armazenados em Vale do Rossim no fim do mês.

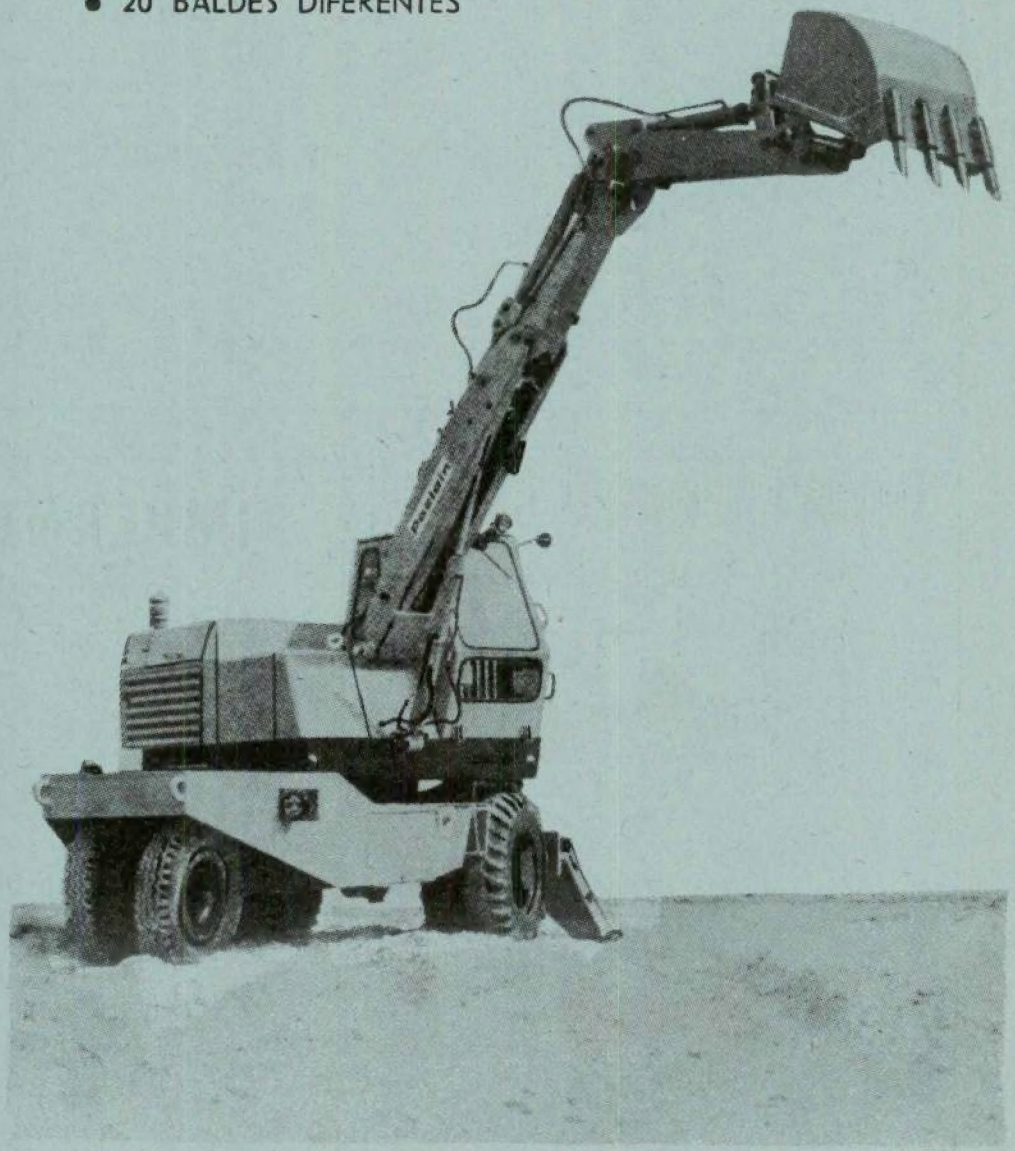
(3) Inclui 2,6 GWh armazenados no açude do Poio no fim do mês.



Poclain T.Y. 45

Escavadora-Retro Escavadora-Grua

- POTÊNCIA AUMENTADA
- ROTAÇÃO TOTAL E CONTÍNUA
- ESTABILIDADE 100 %
- 20 BALDES DIFERENTES



REPRESENTANTES EXCLUSIVOS

Sociedade de Mecanização Industrial e Agrícola, S. A. R. L.
Avenida Padre Manuel da Nóbrega, 8-B-1.º — LISBOA
Telefone: 72 40 53/4/5

SMEIA

Empresa Ultramarina de Sondagens e Fundações, L.da

Associada: Empresa de Sondagens e Fundações

TEIXEIRA DUARTE, LDA.

SONDAGENS geológicas e geotécnicas — CAPTAÇÕES de águas subterrâneas — REBAIXAMENTOS do nível freático — CONSOLIDAÇÕES E ESTABILIZAÇÃO do solo — INJECÇÕES de cimento e outros produtos — INFRAESTRUTURAS de barragens, túneis e pontes — FUNDAÇÕES de todos os tipos

Única Empresa da especialidade com sede no Ultramar Português

Sede — LUANDA
Rua Serpa Pinto, 60
C. P. 2178 — Tel. 4226

LISBOA
P. da Figueira, 18, 3.º Esq.

L. MARQUES = C. P. 982
BEIRA — C. P. 1002

Companhia Portuguesa de Trefilaria

S. A. R. L.

ARMADURAS PRÉ-FABRICADAS **MALHASOL**

Tensão de segurança 3.000 Kg cm²

AÇO BI

Tensão de segurança 4.000 Kg/cm²

AÇOS DE ALTA RESISTÊNCIA PARA BETÃO ARMADO

que pela eficiência técnica e económica a que conduzem, são um indispensável elemento na moderna construção civil

Para qualquer obra em betão armado consulte:

DIAL — GABINETE TÉCNICO

R. DO INSTITUTO INDUSTRIAL, 18-1.º DT.º — LISBOA
TELEFONES 67 12 24/5 E 67 37 85

"IMPERMEÁBILIS"

O IMPERMEABILIZANTE OFICIALMENTE ACONSELHADO EM TODAS AS ARGAMASSAS DE CIMENTO

Prédios, empenas, caves. — Depósitos para água, vinhos e aguardentes. — Facultam-se certificados de ensaio dos Laboratório Nacional de Engenharia Civil e da Junta Nacional do Vinho

Distribuidor geral para todo o Império Português:

ANSELMO DE MATOS

Av. Almirante Reis, 179, r/c. - Tel. 4 64 39 - LISBOA - 1

Revendedores em Lisboa:

João Pereira Vareiro & Filhos, Lda.
Rua Augusto José Vieira, 12 - Tel. 84 74 80

Manuel Pereira Matias, Lda.
Rua de Pedrouços, 105-A - Tel. 61 11 53

Manufacturas de Cimento Fortex, Lda.
Estrada de Benfica, 727 - Tel. 70 21 75

Sequeira & Santos, Lda.
R. José Joaquim Marques, 113 - Tel. 02 61 05 - MONTIJO

C. D. U. 537.311.33 : 621.375.4

ESTUDO DA JUNÇÃO P-N

REGIME ELECTROSTÁTICO

JOSÉ ARTUR DA COSTA CABRAL

Centro de Estudos de Electrónica
da Comissão de Estudos de Energia Nuclear
do Instituto de Alta Cultura

O assunto tratado na presente publicação foi-me sugerido, como tema de trabalho, durante um seminário sobre semicondutores, que se realizou no Instituto Superior Técnico, de Novembro de 1962 a Janeiro de 1963, promovido pelo Centro de Estudos de Electrónica da C. E. E. N. do I. A. C.

Aproveito a oportunidade para agradecer ao Professor Abreu Faro, a orientação recebida no início deste trabalho, assim como a atenção e o estímulo que sempre me dispensou durante a sua elaboração.

SUMÁRIO

Estuda-se, neste artigo, a junção semicondutora abrupta, na ausência de corrente.

Utilizam-se as equações fundamentais, que, sob o ponto de vista macroscópico, permitem caracterizar elèctricamente os semicondutores.

Pode-se assim escrever com generalidade a equação de Poisson, cuja integração numérica conduz ao estabelecimento de um método rigoroso de estudo da junção.

Aplica-se esse método à determinação das diversas grandezas físicas que caracterizam algumas junções de Germânio com diferentes concentrações de impurezas.

Conclui-se que a barreira de potencial se localiza numa região — «zona de transição» — de espessura muito pequena em relação às dimensões usuais das junções realizadas na prática.

O método estabelecido permite ainda discutir a validade de certas aproximações de uso corrente. Nomeadamente, examinou-se o caso da hipótese simplificativa devida a Schottky, estabelecendo-se empìricamente os seus limites de utilização.

NOTAÇÃO

Lista de símbolos

n — Concentração de electrões (*)
p — Concentração de lacunas
N_a — Concentração de centros aceitadores
N_d — Concentração de centros dadores
t — Tempo
g — Taxa de criação de pares electrão-lacuna
r — Coeficiente de recombinação
$-e$ — Carga do electrão
J — Densidade de corrente
J_d — Densidade de corrente de difusão
J_c — Densidade de corrente de condução
μ — Mobilidade

(*) Quando, neste artigo, nos referirmos a electrões, subentende-se tratar-se apenas daqueles que, por pertencerem à banda de condução, contribuiem para o transporte de carga eléctrica.

E — Campo eléctrico
D_n — Constante de difusão dos electrões
D_p — Constante de difusão das lacunas
σ — Condutividade
k — Constante de Boltzmann
T — Temperatura absoluta
x — Distância ao plano de separação
ΔE — Diferença entre as energias correspondentes ao limite inferior da banda de condução e ao limite superior de banda de valência. (Largura da banda proibida)
V — Potencial electrostático
ε — Constante dieléctrica absoluta
ε — Base dos logaritmos neperianos
ρ — Densidade de carga em volume
Q — Carga total por m^2
U_d — Altura da barreira de potencial
W_e — Energia eléctrica por m^2
D — Deslocamento eléctrico
C_{eq} — Capacidade electrostática equivalente por m^2
Δx — Espessura da barreira de potencial
d — Distância de penetração
v — volume

Índices mais usados

Todas as grandezas a que se associarem os seguintes índices são relativas a:

$(\ )_1$ — meio (p)
$(\ )_2$ — meio (n)
$(\ )_i$ — valores intrínsecos
$(\ )_j$ — plano de separação dos dois meios
$(\ )_x$ — plano genérico x
$(\ )_n$ — electrões
$(\ )_p$ — lacunas
$(\ )'$ — valores calculados através do método de Schottky

Sistema de unidades

Adoptou-se o sistema Giorgi racionalizado

A — INTRODUÇÃO: — LEIS FUNDAMENTAIS DOS SEMICONDUTORES

Apresentam-se neste capítulo algumas expressões, de significado bem conhecido, que são fundamentais no estudo dos semicondutores:

A.1 — Do equilíbrio da carga eléctrica e da lei da acção das massas, resulta o seguinte sistema, válido apenas para um semicondutor isolado (1):

$$\begin{cases} n - p = N_d - N_a \\ n \,.\, p = n_i^2 = n_i p_i \end{cases} \tag{1}$$

A.2 — Equações que regem a continuidade da carga eléctrica:

$$\frac{\partial n}{\partial t} = g - r.p.n + \frac{1}{e} \operatorname{div} J_n \qquad \frac{\partial p}{\partial t} = g - r.p.n - \frac{1}{e} \operatorname{div} J_p \tag{2}$$

(1) — N_d e N_a representam também as concentrações de impurezas ionizadas — (ionização completa).

A.3 — As densidades de corrente têm a seguinte escrita, evidenciando-se as duas contribuições: — corrente de condução e corrente de difusão.

$$J_n = n\, e\, \mu_n\, E + e\, D_n \text{ grad } n \qquad Jp = p\, e\, \mu_p\, E - e\, D_p \text{ grad } p \tag{3}$$

A.4 — As condutividades são:

$$\sigma_n = n\, e\, \mu_n \qquad \sigma_p = p\, e\, \mu_p \tag{4}$$

A.5 — Relações de Nernst — Townsend — Einstein, entre as mobilidades e os coeficientes de difusão:

$$\mu_n = \frac{e}{KT} D_n \qquad \mu_p = \frac{e}{KT} D_p \tag{5}$$

São estas as equações básicas que vão permitir resolver o problema que, neste momento, se vai estruturar.

B — FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Vai-se portanto estudar uma junção entre dois semicondutores da mesma rede cristalina, um rico em centros aceitadores, (p), e outro em centros dadores, (n).

Admite-se que a densidade de centros de impurezas é constante em cada elemento da junção. Trata-se portanto de uma junção abrupta, isto é, onde as concentrações de impurezas apresentam uma discontinuidade no plano de separação dos dois meios.

Considera-se uma junção plana e infinita, donde se isola um volume cilíndrico de 1 m^2 de secção recta, como indica a fig. 1. Então, todas as grandezas são funções de uma só variável, x.

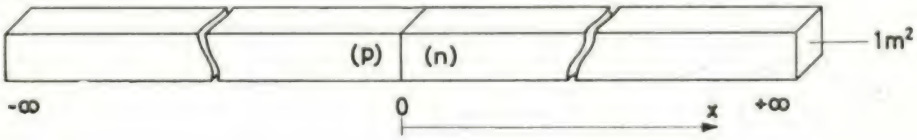


Fig. 1

Há que fazer agora a primeira hipótese: — Consideram-se os efeitos da junção desprezáveis a grande distância do plano de separação. Então, em $x = -\infty$ medir-se-iam os valores característicos do meio (p) isolado, e em $x = +\infty$ os do meio (n).

Admite-se também que a temperatura é constante e suficientemente elevada, para todos os centros dadores terem libertado o seu electrão e todos os centros aceitadores terem originado a sua lacuna. Para a temperatura ambiente, isto obriga a terem-se valores pequenos para as energias de ionização dos centros dadores e de associação dos centros aceitadores. Para T = Cte resulta para $n_i\, p_i$, o valor,

$$n_i\, p_i = n_i^2 = \frac{g}{r} = k_e^2\, T^3\, \varepsilon^{-\frac{\Delta E}{kT}} \tag{6}$$

onde k_e é uma constante universal da ordem de $5 \times 10^{21}\ m^{-3}\ {}^{o}K^{-3/2}$.

Utilizando o sistema (1) escrito para os dois meios, já se podem calcular as densidades características de electrões e lacunas, para as duas partes da junção, supostas isoladas:

$$\begin{cases} n_1 - p_1 = Nd_1 - Na_1 \\ n_1\, p_1 = n_i^2 \end{cases} \qquad \begin{cases} n_2 - p_2 = Nd_2 - Na_2 \\ n_2\, p_2 = n_i^2 \end{cases} \tag{7}$$

Fica-se então a conhecer, para a temperatura escolhida, o seguinte conjunto de valores:

Tipo p . . . . . N_{d_1}, N_{a_1}, n_1, p_1 . . . . . $N_{a_1} >> N_{d_1}$

Tipo n . . . . . N_{d_2}, N_{a_2}, n_2, p_2 . . . . . $N_{d_2} >> N_{a_2}$

Intrínseco . . . 0 , 0 , n_i, p_i . . . . . $n_i = p_i$

B.1 — REGIME ELECTROSTÁTICO

Caracterizando-se este regime pela ausência de correntes e pela invariância (*) no tempo de todas as grandezas, pode-se escrever:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\ ) = 0 \quad \text{e} \quad J = 0 \quad \text{ou} \quad J_c = -J_d$$

Sendo assim, das equações (2), conclui-se imediatamente que é lícito aplicar aqui a lei da acção das massas, uma vez que é

$$g - rpn = 0 \quad \therefore \quad np = \frac{g}{r} = Cte = n_i\, p_i$$

Mas, para se igualar esta constante a $n_i\, p_i$, admite-se agora que os fenómenos de geração de pares (electrão-lacuna) e de recombinação, se passam ao mesmo ritmo que teriam se os semicondutores fossem intrínsecos. Esta hipótese baseia-se no facto de ser muito pequena a densidade de impurezas, quando comparada com a de átomos da rede cristalina.

Das equações (3), com o auxílio das relações de Einstein (5), e sabendo-se que neste caso é $E = -\text{grad}\, V = -\dfrac{dV}{dx}$, chega-se fàcilmente a:

$$\begin{cases} \dfrac{dn}{dx} = \dfrac{e}{KT} \cdot \dfrac{dV}{dx} \cdot n \\[2ex] \dfrac{dp}{dx} = -\dfrac{e}{KT} \cdot \dfrac{dV}{dx} \cdot p \end{cases} \qquad \text{cuja solução é:} \qquad \begin{cases} n = K_n\, \varepsilon^{\frac{e}{KT}(V_x - V_o)} \\[2ex] p = K_p\, \varepsilon^{-\frac{e}{KT}(V_x - V_o)} \end{cases}$$

Referindo as constantes a $x = 0$, onde é $n = n_j$, $p = p_j$ e, por convenção, $V_j = 0$, as expressões anteriores escrevem-se agora:

$$\begin{cases} n_x = n_j\, \varepsilon^{\frac{e}{KT} V_x} \\[2ex] p_x = p_j\, \varepsilon^{-\frac{e}{KT} V_x} \end{cases} \qquad n_x\, p_x = n_j\, p_j = n_1\, p_1 = n_2\, p_2 = n_i\, p_i = n_i^2 = Cte \qquad (8)$$

Estas equações são fundamentais e traduzem a existência de uma estatística de Boltzmann.

C — CÁLCULO DA ALTURA DA BARREIRA DE POTENCIAL

Sendo $\begin{cases} n_2 = n_j\, \varepsilon^{\frac{e}{KT} V_2} \\[2ex] p_2 = p_j\, \varepsilon^{-\frac{e}{KT} V_2} \end{cases}$ e $\begin{cases} n_1 = n_j\, \varepsilon^{\frac{e}{KT} V_1} \\[2ex] p_1 = p_j\, \varepsilon^{-\frac{e}{KT} V_1} \end{cases}$

(*) No sentido estatístico.

determina-se, como é evidente, a altura da barreira de potencial, por:

$$U_d = V_2 - V_1 = \frac{KT}{e} \log \frac{n_2}{n_1} = \frac{KT}{e} \log \frac{p_1}{p_2} \tag{9}$$

D — DETERMINAÇÃO DAS DIVERSAS GRANDEZAS — EXPOSIÇÃO DO MÉTODO

O problema resume-se agora a integrar a equação de Poisson, sem outras aproximações que não sejam as já indicadas, postulando-se apenas a continuidade do campo eléctrico. Para isso há que determinar relações, impostas pelas equações de Maxwell, entre as diversas grandezas físicas.

D.1 — DETERMINAÇÃO DA FUNÇÃO $\rho = \rho\ (V)$ — RELAÇÃO ENTRE CARGAS E POTENCIAIS

Notando-se que a densidade de carga num plano $x = Cte$ é obtida à custa das portadoras locais (n_x e p_x) e da carga fixa no espaço (devida aos átomos ionizados das impurezas), pode-se escrever:

$$\rho = -e\,[\,(n_x - p_x) + (N_{a_1} - N_{d_1})\,] \qquad x < 0 \qquad (p)$$

$$\rho = -e\,[\,(n_x - p_x) + (N_{a_2} - N_{d_2})\,] \qquad x > 0 \qquad (n)$$

ou

$$\rho = e\left[(N_{d_1} - N_{a_1}) + p_j\, \varepsilon^{-\frac{e}{KT} V_x} - n_j\, \varepsilon^{\frac{e}{KT} V_x}\right] \qquad x < 0 \qquad (p)$$

$$\rho = e\left[(N_{d_2} - N_{a_2}) + p_j\, \varepsilon^{-\frac{e}{KT} V_x} - n_j\, \varepsilon^{\frac{e}{KT} V_x}\right] \qquad x > 0 \qquad (n) \tag{10}$$

Como se não conhecem ainda n_j, p_j, nem a repartição da diferença de potencial U_d pelos dois meios, isto é, V_2 e V_1, estas relações têm, por enquanto, apenas carácter qualitativo. A sua determinação completa será apresentada em D.5, depois de calculadas em D.3 as constantes que agora ignoramos.

D.2 — DETERMINAÇÃO DA FUNÇÃO $E = E\ (V)$ — RELAÇÃO ENTRE CAMPOS E POTENCIAIS

D.2.1 — *Condições Fronteiras*

Calculando o integral da equação de Poisson no volume interior à superfície cilíndrica infinita indicada na fig. 1, resulta:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \frac{d^2 V_x}{dx^2}\, dx \,.\, 1m^2 = -\frac{1}{\varepsilon} \int_{-\infty}^{+\infty} \rho_x\, dx \,.\, 1m^2$$

$$\left(\frac{dV_x}{dx}\right)_{-\infty}^{+\infty} = -\frac{1}{\varepsilon}\, Q$$

Q — Carga eléctrica total contida no volume de integração

Como, ao se escreverem as equações (7) se admitiu a neutralidade nos dois meios isolados, então, depois de realizada a junção, há também equilíbrio da carga eléctrica, sendo $Q = 0$. Logo, conclui-se que os campos eléctricos nos extremos são iguais.

$$\left(\frac{dV_x}{dx}\right)_{+\infty} = \left(\frac{dV_x}{dx}\right)_{-\infty}$$

Admitiu-se, nesta dedução, que as constantes dieléctricas dos dois tipos de semicondutor são iguais: $\varepsilon_2 = \varepsilon_1 = \varepsilon$. De facto, sendo as concentrações de impurezas bastante inferiores à densidade atómica da estrutura cristalina, não se altera apreciàvelmente a constante dieléctrica do semicondutor intrínseco, o que torna lícito o emprego do mesmo valor de ε para os dois meios.

Façamos agora nova hipótese: — Os campos eléctricos nos extremos, além de iguais, são nulos. Isto é evidente, visto que aí se encontram meios neutros (1.ª hipótese feita) e não existem campos aplicados.

$$E_{-\infty} = E_{+\infty} = 0$$

D.2.2 — *Determinação de $E = E\ (V)$*

Vamos então introduzir na equação de Poisson, a estatística de Boltzmann, relacionando-se assim o potencial V_x com a coordenada x, através de uma equação diferencial transcendente, que nos propomos integrar; assim é:

$$\text{Lap}\, V_x = \frac{d^2 V_x}{dx^2} = -\frac{\rho_x}{\varepsilon}$$

$$\frac{d^2 V_x}{dx^2} = -\frac{e}{\varepsilon}\left[(N_d - N_a) + p_j\, \varepsilon^{-\frac{e}{KT} V_x} - n_j\, \varepsilon^{\frac{e}{KT} V_x}\right] \tag{11}$$

Multiplicando ambos os membros desta igualdade por $\frac{dV}{dx}$ e integrando entre $x = -\infty$ e $x = x$ no meio (p) e entre $x = x$ e $x = +\infty$ no meio (n), chega-se a:

$$\left[\frac{1}{2}\left(\frac{dV}{dx}\right)^2\right]_{-\infty}^{x} = -\frac{e}{\varepsilon}\int_{V_1}^{V_x}\left[(N_{d1} - N_{a1}) + p_j\, \varepsilon^{-\frac{e}{KT} V_x} - n_j\, \varepsilon^{\frac{e}{KT} V_x}\right] d\,V_x \tag{p}$$

$$\left[\frac{1}{2}\left(\frac{dV}{dx}\right)^2\right]_{+\infty}^{x} = -\frac{e}{\varepsilon}\int_{V_2}^{V_x}\left[(N_{d2} - N_{a2}) + p_j\, \varepsilon^{-\frac{e}{KT} V_x} - n_j\, \varepsilon^{\frac{e}{KT} V_x}\right] d\,V_x \tag{n}$$

Notando-se agora que se verifica

$$\text{em}\quad x = -\infty:\quad V_x = V_1,\quad n_x = n_j\, \varepsilon^{\frac{e}{KT} V_1} = n_1,\quad p_x = p_j\, \varepsilon^{-\frac{e}{KT} V_1} = p_1,\quad \left(\frac{dV}{dx}\right)_{-\infty} = 0$$

$$\text{em}\quad x = +\infty:\quad V_x = V_2,\quad n_x = n_j\, \varepsilon^{\frac{e}{KT} V_2} = n_2,\quad p_x = p_j\, \varepsilon^{-\frac{e}{KT} V_2} = p_2,\quad \left(\frac{dV}{dx}\right)_{+\infty} = 0$$

resultam as seguintes expressões:

$$\frac{1}{2} E_x^2 = \frac{e}{\varepsilon}(N_{d2} - N_{a2})(V_2 - V_x) - \frac{e}{\varepsilon}\cdot\frac{KT}{e}\left[(n_2 + p_2) - (n_x + p_x)\right] \tag{n}$$

$$\frac{1}{2} E_x^2 = \frac{e}{\varepsilon}(N_{a1} - N_{d1})(V_x - V_1) - \frac{e}{\varepsilon}\cdot\frac{KT}{e}\left[(n_1 + p_1) - (n_x + p_x)\right] \tag{p}$$

(12)

Se nestas equações se explicitar o valor de V_x nas concentrações n_x e p_x, aparece a procurada relação entre campos eléctricos e potenciais relativos ao do plano da junção:

$$\left(\frac{dV}{dx}\right)^2 = E_x^2 = \frac{2e}{\varepsilon}\left\{(Nd_2 - Na_2)(V_2 - V_x) - \frac{KT}{e}\left[(n_2 + p_2) - \left(n_j\, \varepsilon^{\frac{e}{KT}V_x} + p_j\, \varepsilon^{-\frac{e}{KT}V_x}\right)\right]\right\} \quad (n)$$

(12)

$$\left(\frac{dV}{dx}\right)^2 = E_x^2 = \frac{2e}{\varepsilon}\left\{(Na_1 - Nd_1)(V_x - V_1) - \frac{KT}{e}\left[(n_1 + p_1) - \left(n_j\, \varepsilon^{\frac{e}{KT}V_x} + p_j\, \varepsilon^{-\frac{e}{KT}V_x}\right)\right]\right\} \quad (p)$$

Do mesmo modo que $\rho = \rho(V)$, também esta nova relação depende de n_j e p_j ou, o que é o mesmo, depende do conhecimento de V_2 e V_1. Vejamos como se conseguem determinar estas grandezas.

D.3 — CONTINUIDADE DO CAMPO ELÉCTRICO — SUAS CONSEQUÊNCIAS

Vai-se então postular a continuidade do campo eléctrico no plano de separação, isto é, $E_{+0} = E_{-0}$. Este apresenta os seguintes valores, quando calculado, respectivamente, a partir dos meios (n) e (p):

$$E_{x\,+0}^2 = \frac{2e}{\varepsilon}\left\{(Nd_2 - Na_2)\,V_2 - \frac{KT}{e}\left[(n_2 + p_2) - (n_j + p_j)\right]\right\}$$

$$E_{x\,-0}^2 = \frac{2e}{\varepsilon}\left\{(Na_1 - Nd_1)(-V_1) - \frac{KT}{e}\left[(n_1 + p_1) - (n_j + p_j)\right]\right\} \quad (13)$$

Da igualdade destas duas expressões resulta:

$$(Nd_2 - Na_2)\,V_2 + (Na_1 - Nd_1)\,V_1 = \frac{K_1}{e}\left[(n_2 + p_2) - (n_1 + p_1)\right] \quad (14)$$

A primeira consequência da continuidade do campo é a repartição da diferença de potencial U_d pelos dois meios em presença.

Recorrendo novamente à condição de neutralidade expressa em (1), pode-se escrever, sob novo aspecto, a igualdade anterior; se a esta, agora, juntarmos a relação (9), podemos determinar, unìvocamente, os potenciais V_2 e $V_1 = V_2 - U_d$, pela resolução do seguinte sistema:

$$\frac{n_2 - p_2}{p_1 - n_1}\,V_2 + V_1 = \frac{KT}{e}\left[\frac{(n_2 + p_2) - (n_1 + p_1)}{p_1 - n_1}\right]$$

$$V_2 - V_1 = \frac{KT}{e}\log\frac{n_2}{n_1} = Ud \quad (15)$$

$$\frac{(n_2 - p_2) + (p_1 - n_1)}{(p_1 - n_1)}\,V_2 = \frac{KT}{e}\left[\frac{(n_2 + p_2) - (n_1 + p_1)}{(p_1 - n_1)}\right] + Ud$$

O conhecimento destes potenciais vai-nos finalmente permitir calcular as densidades de portadoras no plano de separação dos dois meios; das equações (8) resultam, imediatamente, os seguintes resultados:

$$n_j = \frac{n_2}{\varepsilon^{\frac{e}{KT}V_2}} = \frac{n_1}{\varepsilon^{\frac{e}{KT}V_1}} \qquad n_1 < n_j < n_2$$

(16)

$$p_j = \frac{p_2}{\varepsilon^{-\frac{e}{KT}V_2}} = \frac{p_1}{\varepsilon^{-\frac{e}{KT}V_1}} \qquad p_1 > p_j > p_2$$

D.4 — VARIAÇÃO DO POTENCIAL ELECTROSTATICO NO ESPAÇO

De posse dos valores de V_2, V_1, n_j, p_j, já se podem determinar com rigor as duas relações $E = E(V)$. Para se obter a relação $V = V(x)$, basta apenas notar que:

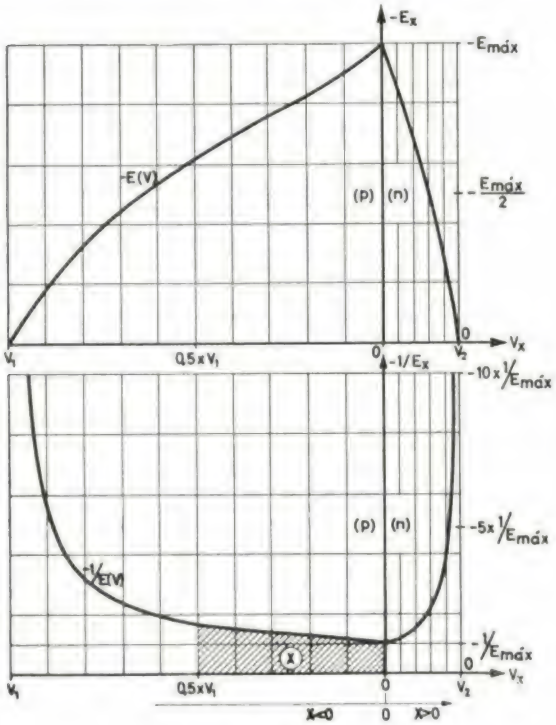


Fig. 2

$$dV_x = \frac{dV_x}{dx}\,dx = -E_x\,dx$$

donde,

$$dx = \frac{dV_x}{-E_x}$$

e portanto,

$$x = -\int_0^{V_x} \frac{1}{E_x(V)}\,dV_x \qquad (17)$$

A partir de $E = E(V)$, podemos fàcilmente determinar as relações inversas $-1/_{E(V)}$ que são também funções do potencial V_x.

O integral desta última função entre 0 e V_x, ou seja, o valor da coordenada x onde se mediria V_x, pode ser calculado numérica ou gràficamente, com um êrro arbitràriamente pequeno.

Note-se que, pelo facto de $-1/_{E(V)}$ tender para infinito quando V_x tende para V_2 ou V_1, se tem, como se esperava, toda a região de $x = -\infty$ a $x = +\infty$ interessada no fenómeno. Na fig. 2 apresentam-se estas curvas para uma junção assimétrica estudada em F.

A variação do potencial em x pode portanto determinar-se com um rigor matemático que apenas depende do número de valores discretos atribuídos a V_x e da precisão da integração de $-1/_{E(V)}$. Esta relação, $V = V(x)$ é agora suficiente para resolver completamente o problema. A forma desta barreira de potencial pode ser examinada, por exemplo, na fig. 8, relativa a um caso concreto estudado.

D.5 — VARIAÇÃO NO ESPAÇO DA CARGA E CAMPO ELÉCTRICOS

De modo semelhante ao que usamos para determinar $E = E(V)$, podemos, conhecidos já n_j e p_j e portanto V_2 e V_1, traçar rigorosamente as relações (10) entre cargas e potenciais. Ficamos assim com duas curvas, traçadas na fig. 3, que nos afirmam que, num plano onde se medisse a densidade de carga ρ_x, se teria que medir também um potencial relativo V_x.

Os valores particulares mais importantes da densidade de carga, são os seguintes:

1 —	$x = +\infty$	$V_x = V_2$	$\rho_2 =$	$e\,[(N_{d2} - N_{a2}) - (n_2 - p_2)] = 0$
2 —	$x = +0$	$V_x = V_j = 0$	$\rho_{+o} =$	$e\,[(N_{d2} - N_{a2}) + (p_j - n_j)] > 0$
3 —	$x = -0$	$V_x = V_j = 0$	$\rho_{-o} =$	$-e\,[(N_{a1} - N_{d1}) + (n_j - p_j)] < 0$
4 —	$x = -\infty$	$V_x = V_1$	$\rho_1 =$	$-e\,[(N_{a1} - N_{d1}) - (p_1 - n_1)] = 0$

As densidades ρ_1 e ρ_2 são nulas pela condição de neutralidade já expressa em (1).

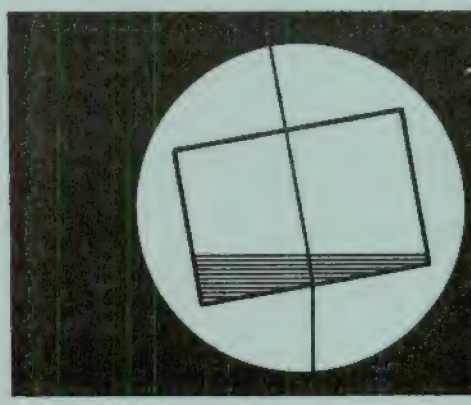
Com base na variação espacial $V = V(x)$, determinada em D.4, e usando as relações de transferência $E = E(V)$ e $\rho = \rho(V)$, podem-se determinar finalmente $E = E(x)$ e $\rho = \rho(x)$.

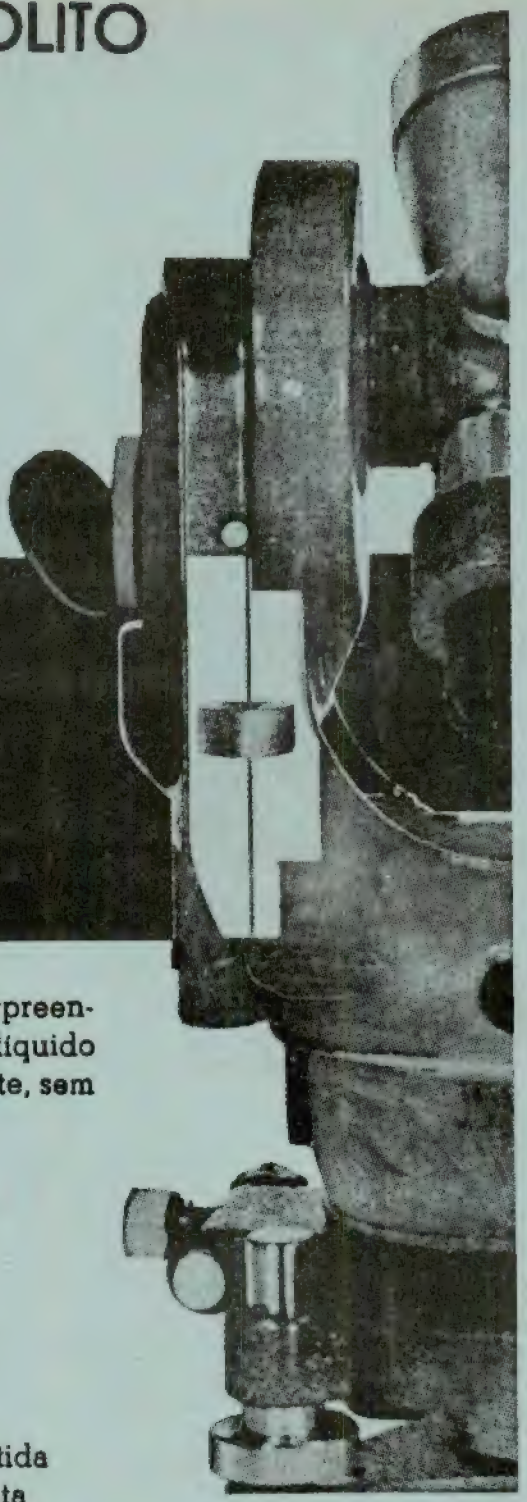
O NOVO TEODOLITO

Wild T 1-A

com calagem zenital automática

O teodolito com os aperfeiçoamentos mais modernos, permitindo medições mais fáceis, rápidas e mais exactas





Automatismo duma concepção surpreendentemente simples: Prisma com líquido sem partes mecânicas, sem desgaste, sem desarranjos, sem reparações.

Detalhes no prospecto Th 154

WILD
HEERBRUGG

Modelo T 1-A C/imagem invertida
Modelo T 1-A E C/imagem direita

Solicitem catálogo ou demonstração ao representante exclusivo:

WILD PORTUGAL, L.DA

LISBOA — PRAÇA DAS ÁGUAS LIVRES, 8, S/L 6 — Tel. 68 11 27

Um brilhante sucesso técnico!

ARALDITE

O mais forte dos ligantes para todo o trabalho.

Um tipo de ligante **inteiramente diferente,** de resultados seguros na colagem de

AÇO METAIS VIDRO CERÂMICA BORRACHA PLÁSTICOS e todo o material de uso corrente

RESISTE A

CALOR HUMIDADE ÁCIDOS SOLVENTES ALCALIS

As ligações com **ARALDITE** mantêm-se.

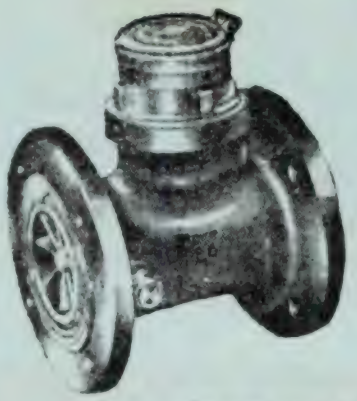
Liga materiais da mesma natureza e de natureza diferente.

O ligante **ARALDITE** é mais forte que o material que liga.

À VENDA NAS DROGARIAS E PAPELARIAS

CONTADORES PARA LÍQUIDOS

Sistema "Woltman"



L G

LANGE

De:

50 m/m

a

300 m m

REPRESENTANTES EXCLUSIVOS:

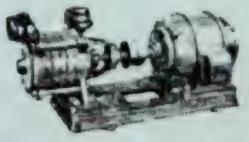
HIDREL

Técnica de Hidráulica e de Electricidade, Ld.ª

47-A RUA DO ALECRIM 47-B

LISBOA

BOMBAS



Se tem um problema de bombas, consulte

VASCO PESSOA, LDA.

Rua da Boavista, 63

LISBOA

Das relações (8) obtém-se também a variação no espaço das concentrações de electrões e de lacunas.

O método pode-se então resumir na figura 4, onde apenas se representam as grandezas relativas ao lado (n); para o lado (p) tudo era semelhante.

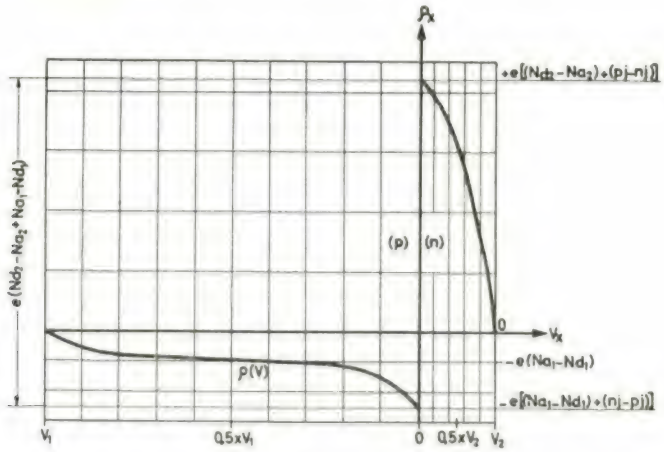


Fig. 3

De posse das variações em x da carga, campo, potencial e concentrações das portadoras, temos o problema resolvido. O estudo de alguns casos concretos permitirá pôr à prova a utilidade do método.

E — CÁLCULO DA ENERGIA ELÉCTRICA ASSOCIADA — CAPACIDADE EQUIVALENTE

Como se sabe, a energia eléctrica, associada a 1 m² de secção, tem, no sistema de unidades escolhido, a seguinte expressão:

$$W_e = \frac{1}{2}\int_{Vol.}(D\,,E)\;dv = \frac{1}{2}\int_{Vol.}(D\,,E)\;dx\,.\,1\,m^2 = \frac{\varepsilon}{2}\int_{-\infty}^{+\infty}E_x^2\;dx = -\frac{\varepsilon}{2}\int_{V_1}^{V_2}E\,(V)\;dV_x \qquad (18)$$

visto que

$$E_x^2\;dx = -\,E_x\,\frac{dV_x}{dx}\,dx = -\;E_x\;dV_x$$

Então, as áreas tracejadas na figura 5, representam, quando multiplicadas pela constante $\frac{\varepsilon}{2}$, as energias eléctricas armazenadas nos meios (p) e (n). A energia total é evidentemente dada por $W_e = W_{ep} + W_{en}$.

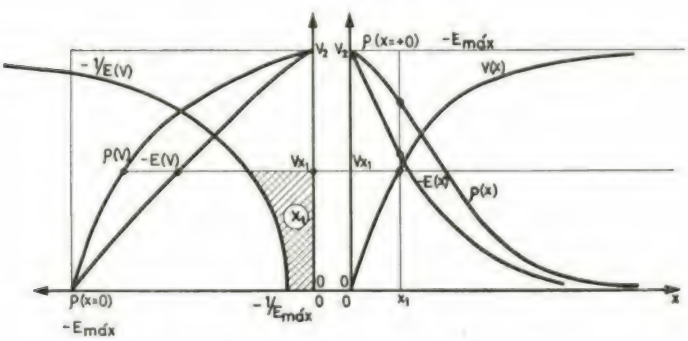


Fig. 4

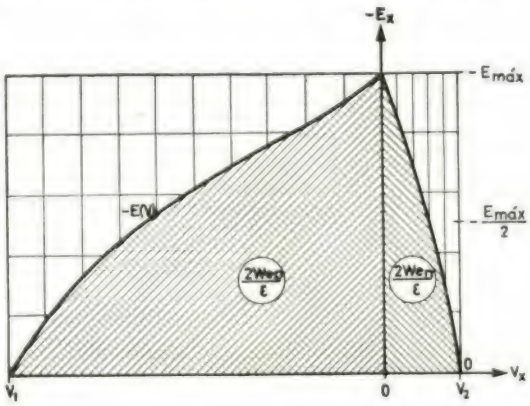


Fig. 5

Encarando a junção como um dipolo em relação ao qual se conhecem, a diferença de potencial aos terminais (U_d) e a energia eléctrica armazenada, podemos definir uma capacidade equivalente, de tipo electrostático e por unidade de superfície, pela relação:

$$W_e = \frac{1}{2} C_{eq} (U_d)^2 \quad \text{ou} \quad C_{eq} = \frac{2 W_e}{(U_d)^2} \tag{19}$$

F — APLICAÇÃO A CASOS CONCRETOS

Vamos então aplicar o método exposto ao estudo de junções de Germânio. Para este elemento à temperatura de 300° K, as concentrações intrínsecas de electrões e lacunas são: $n_i = p_i = 2{,}4 \times 10^{19}\ m^{-3}$ (1). Para valor da constante dieléctrica relativa tomou-se 16,2 (2).

Vão-se estudar seis junções em que a concentração de centros dadores no meio (n) permanece constante e igual a $1000 . n_i$ e em que a de centros aceitadores no meio (p) varia, tomando os seguintes valores: $1000 . n_i$ (junção simétrica), $500 . n_i$, $250 . n_i$, $100 . n_i$, $10 . n_i$ e $0 . n_i$. Esta última junção é já do tipo I — N, em que I representa um semicondutor intrínseco. Desprezam-se as concentrações de centros dadores em (p) e de aceitadores em (n): $N_{a2} << N_{d2}$ e $N_{d1} << N_{a1}$.

Para cada um destes casos resolveram-se, sucessivamente, as diversas questões expostas nas seguintes alíneas:

a — Cálculo das concentrações de electrões e lacunas nos extremos da junção — Resolução dos sistemas (7) Obtenção de n_1, p_1, n_2, p_2.

b — Determinação da altura da barreira de potencial, (U_d) — Usou-se o valor de $\frac{KT}{e} = 25{,}8486\,mV$ ($T = 300°$ K)

c — Resolução das equações (15) — Repartição de U_d pelos dois meios — Obtenção de V_1 e V_2.

d — Cálculo das densidades de portadoras no plano de separação — Obtenção de n_j e p_j.

e — Determinação das relações $E = E\ (V)$ — Cálculo do valor máximo do campo eléctrico.

f — Cálculo da energia eléctrica associada a cada meio, W_{ep} e W_{en}, e da energia eléctrica total, W_e.

g — Determinação da capacidade electrostática equivalente à distribuição de carga existente.

h — Determinação das funções inversas $^{-1}/_{E\,(V)} = f\ (V)$.

i — Integração destas entre 0 e V_x. Obtenção de $V = V\ (x)$ — Usou-se uma integração numérica, segundo a regra de Simpson, com um intervalo de integração de 5 % entre 0 e 90 % de V_1 e V_2, e de 1 % entre 90 e 98 % de V_1 e V_2.

j — Determinação da distância x_i onde se verifica a igualdade das concentrações n e p, isto é, onde se mediriam n_i e $p_i = n_i$. Para se determinar esta distância basta atender a:

$$V_2 = \frac{KT}{e} \log \frac{n_2}{n_j} \qquad V_i = \frac{KT}{e} \log \frac{n_i}{n_j} \qquad \text{, donde}$$

$$V_2 - V_i = \frac{KT}{e} \log \frac{n_2}{n_i} = \frac{KT}{e} \log 1000 = 178{,}56\ mV$$

Então de $x = +\infty$ a $x = x_i$ o potencial decresce sempre de 178,56 mV; o conhecimento deste facto permite-nos determinar fàcilmente as diversas distâncias intrínsicas (x_i), a partir das barreiras de potencial $V = V(x)$ determinadas na alínea i.

Os resultados destes cálculos encontram-se no seguinte quadro de valores;

---

(1) — Indicação de E. M. Conwell em Proceedings of the IRE, vol. 46, n.º 6, pág. 1290, Jun. 1958.

(2) — Segundo E. Spenke, em «Semiconducteurs Électroniques».

QUADRO N.º 1

		Densidade de Centros Aceitadores em (p) — (N_{a1})					
		1000 . n_i	500 . n_i	250 . n_i	100 . n_i	10 . n_i	0 . n_i
n_1 , p_1 (n_i)	n_1	0,001	0,002	0,004	0,01	0,099	1
$n_2 = 1000$, $p_2 = 0,001$ Ctes	p_1	1000	500	250	100,01	10,099	1
U_d (mV)		357,1	339,2	321,3	297,6	238,3	178,55
V_2 (mV)		178,55	121,7	79,8	48,2	27,7	25,80
— V_1 (mV)		178,55	217,5	241,5	249,4	210,6	152,75
n_j (n_i)		1	9,03	45,58	154,9	342,4	368,6
p_j (n_i)		1	0,111	0,022	0,0064	0,0028	0,0027
— $E_{máx.}$ (KV/cm)		28,35	22,49	17,03	11,78	7,50	7,06
W_e (10^{-6} Joules)		44,59	33,68	23,93	14,63	4,85	3,63
W_{ep} (10^{-6} Joules)		22,295	21,95	18,35	12,37	4,07	2,93
W_{en} (10^{-6} Joules)		22,295	11,73	5,58	2,26	0,78	0,70
C_{eq} (pF/mm²)		699,2	585,4	463,5	330,4	170,8	227,7
— x_1 (10^{-7} m)		0	0,28	0,68	1,44	3,92	∞

Com base nestes resultados, traçaram-se os três gráficos da fig. 6, escolhendo-se para variável independente, em cada logarítmica, a concentração de lacunas característica do meio (p), suposto isolado.

As conclusões mais importantes podem resumir-se do seguinte modo:

Quando se diminui a concentração de centros aceitadores em (p), mantendo fixa a de centros dadores em (n), verifica-se que:

a — A diferença de potencial $V_2 - V_1 = U_d$ decresce, evidentemente, mas repartindo-se de modo diferente pelos dois meios, sendo a maior contribuição devida ao meio mais pobre em portadoras, neste caso o meio (p).

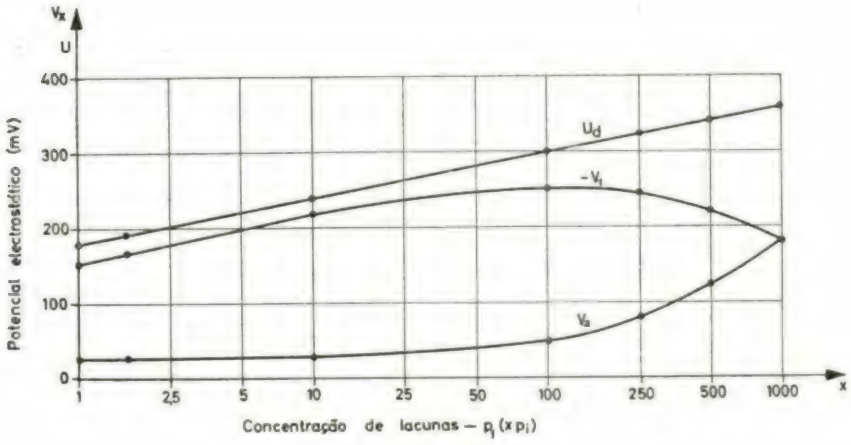


Fig. 6-a

b — A energia eléctrica também decresce e reparte-se de modo semelhante ao de U_d, armazenando-se portanto mais energia em (p).

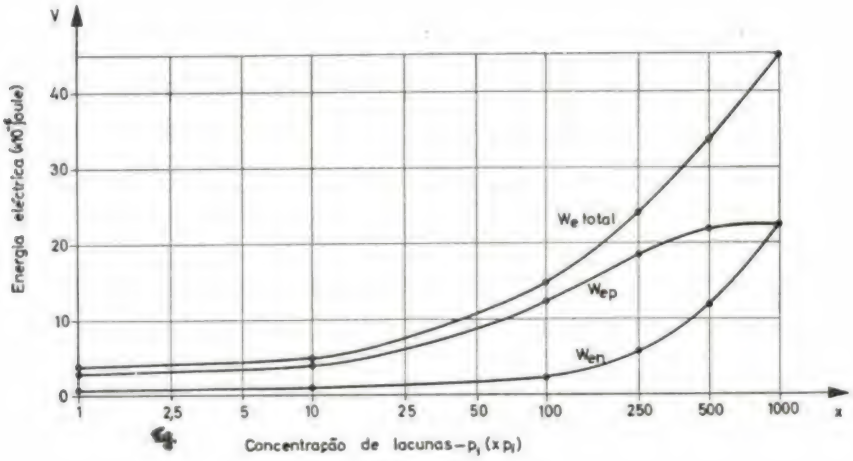


Fig. 6-b

c — O campo eléctrico máximo, isto é, o campo no plano de separação, é também [1] uma função monotónica crescente com N_{al}, o mesmo sucedendo à carga por m^2, de que é representante — $(Q_2 = \int_0^{\infty} \rho(x)\, dx = -\int_{-\infty}^{0} \rho(x)\, dx = -Q_1)$.

d — A capacidade equivalente, como grandeza não independente, $C = C(W_e, U_d)$, apresenta um mínimo entre $p_l = p_i$ e $p_l = 1000\, p_i$.

e — A distância intrínseca, definida por $d_i = |x_i|$, aumenta, variando entre $d_i = 0$ (junção simétrica) e $d_i = \infty$ (junção I — N).

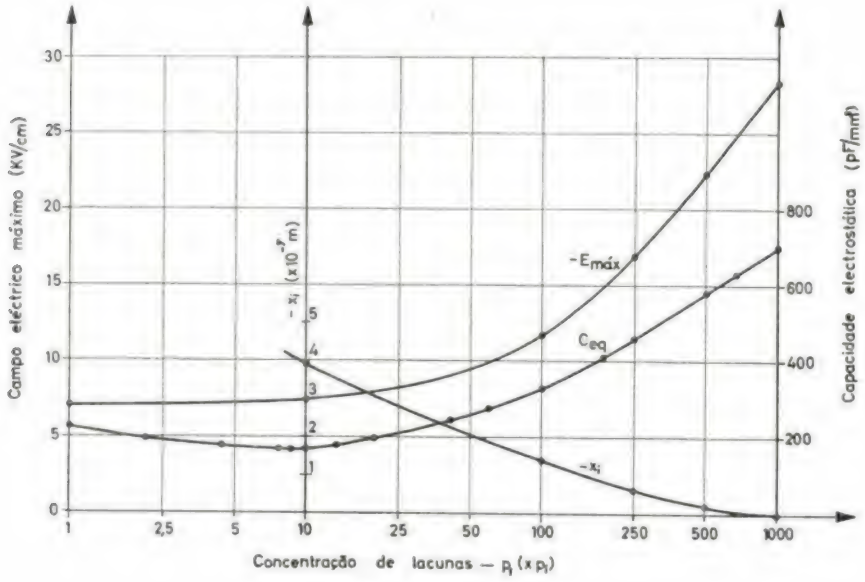


Fig. 6-c

[1] Em módulo.

Examinando as diversas barreiras de potencial, traçadas na fig. 7, verificamos imediatamente que, quando o valor de N_{a1} decresce, a barreira diminui de amplitude e alarga-se no espaço. A consideração de um alargamento no espaço poderá parecer neste momento um conceito duvidoso, uma vez que, por hipótese inicial, todo o volume de semicondutor está interessado no fenómeno, sendo as larguras das barreiras sempre infinitas. Mas, do exame da fig. 7, verificamos também que se pode definir, embora de uma maneira talvez pouco formal, um conceito de espessura da barreira, como uma largura significativa no estudo da zona de transição. Assim, neste trabalho, chamamos espessura da barreira à distância Δx que medeia entre os planos onde o potencial assume os valores de 98 % de V_2 e 98% de V_1. É portanto à variação desta espessura Δx, que nos referimos acima, ao falarmos de um alargamento no espaço da barreira de potencial.

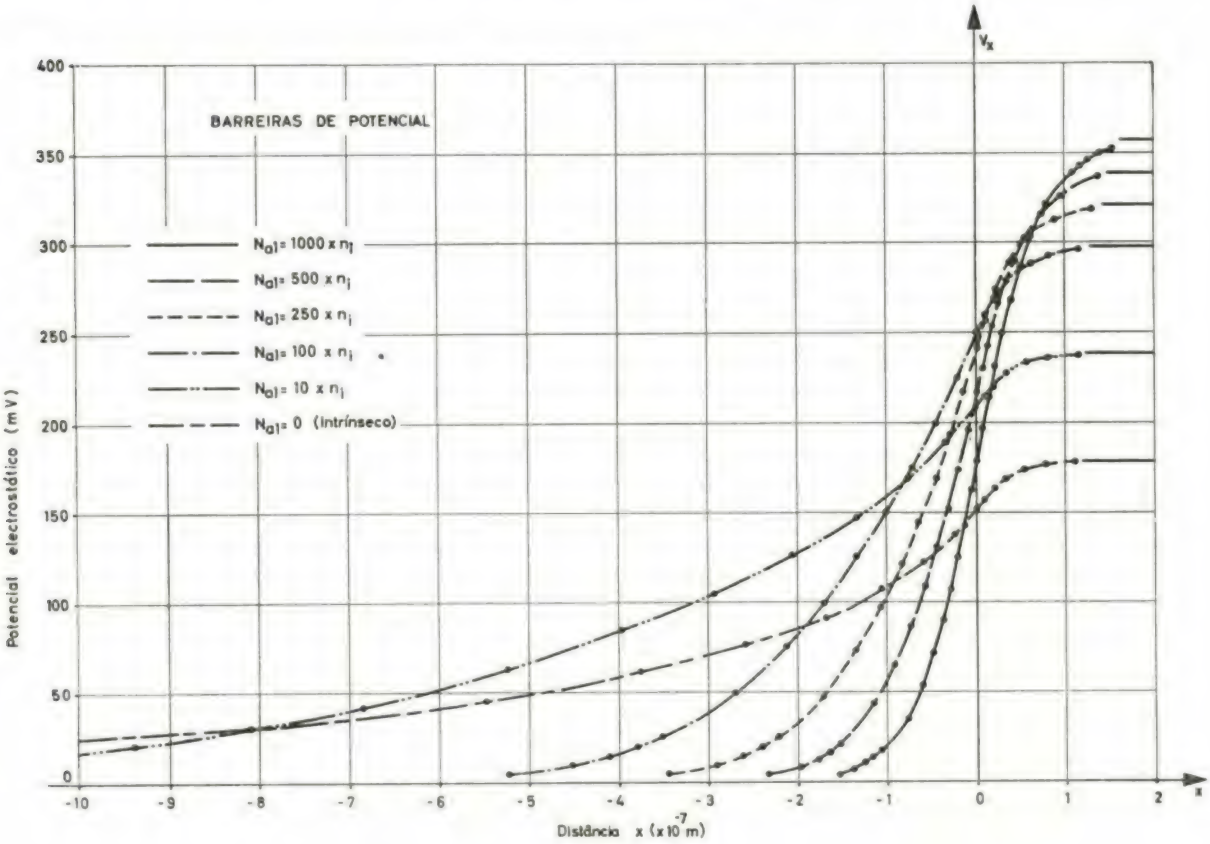


Fig. 7

Da diminuição de U_d e do aumento de Δx, resultam campos eléctricos médios decrescendo ràpidamente com o empobrecimento do meio (p) em centros aceitadores. O campo eléctrico médio podia ser definido, por exemplo, por $E_{med} = \frac{U_d}{\Delta x}$. Este decrescimento rápido do campo já tinha sido verificado apenas para o seu valor máximo.

Prolongado o estudo do caso $N_{a1} = 100 \cdot n_i$, determinaram-se as relações $\rho = \rho(V)$ (fig. 3), $n = n(V)$ e $p = p(V)$, expressas respectivamente em (10) e (8). Traçou-se com rigor a curva $V = V(x)$ e, a partir dela, de acordo com o método exposto, determinaram-se as variações em x, do campo, carga e concentrações de portadoras. Estas resultados encontram-se nos quatro gráficos da fig. 8, e permitem tirar as seguintes conclusões:

a — Verifica-se, no plano de separação, a existência de uma densidade de carga «móvel» (devida só a electrões e lacunas) não nula e já bastante significativa. Assim, no diagrama

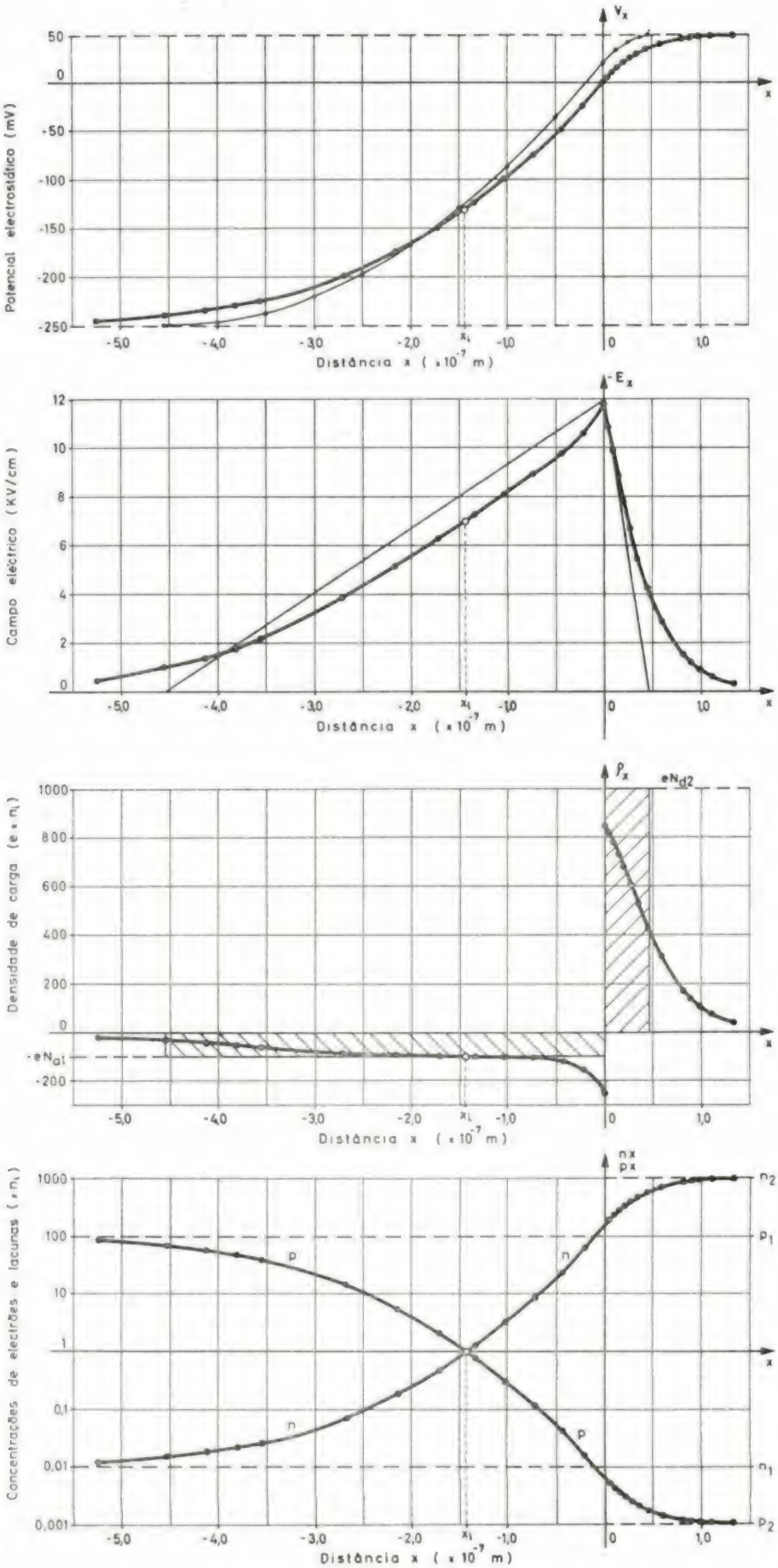

Potencial electrostático (mV)
Distância x (x 10^-7 m)
Campo eléctrico (KV/cm)
Densidade de carga (e x n_i)
-eN_a1
eN_d2
Concentrações de electrões e lacunas (x n_i)
n_2
p_1
n_1
p_2

Fig. 8

da densidade de carga, não se atinge eN_{d2} em $x = +0$ e ultrapassa-se largamente [1] $-eN_{a1}$ em $x = -0$.

b — O plano intrínseco, definido por $x = x_i$, situa-se na região (p).

c — É na vizinhança deste plano intrínseco que se pode considerar, aproximadamente, a densidade de carga constante, o campo eléctrico linear e o potencial com variação parabólica, em x.

Sabendo que, para as funções potencial e logaritmo da concentração de electrões, se verifica, à parte constantes, a mesma lei de variação no espaço $\left(\log n_x = \log n_i + \frac{e}{KT} V_x\right)$ e que, em escala logarítmica, as curvas de $n = n(x)$ e $p = p(x)$ são simétricas em relação à recta $n = n_i = p_i$ ($\log n_x + \log p_x = 2 \log n_i$), podemos, a partir das diversas barreiras de potencial da fig. 7, determinar a variação das concentrações de portadoras (n_x e p_x), para os seis casos estudados. Obtêm-se assim as curvas traçadas na fig. 9.

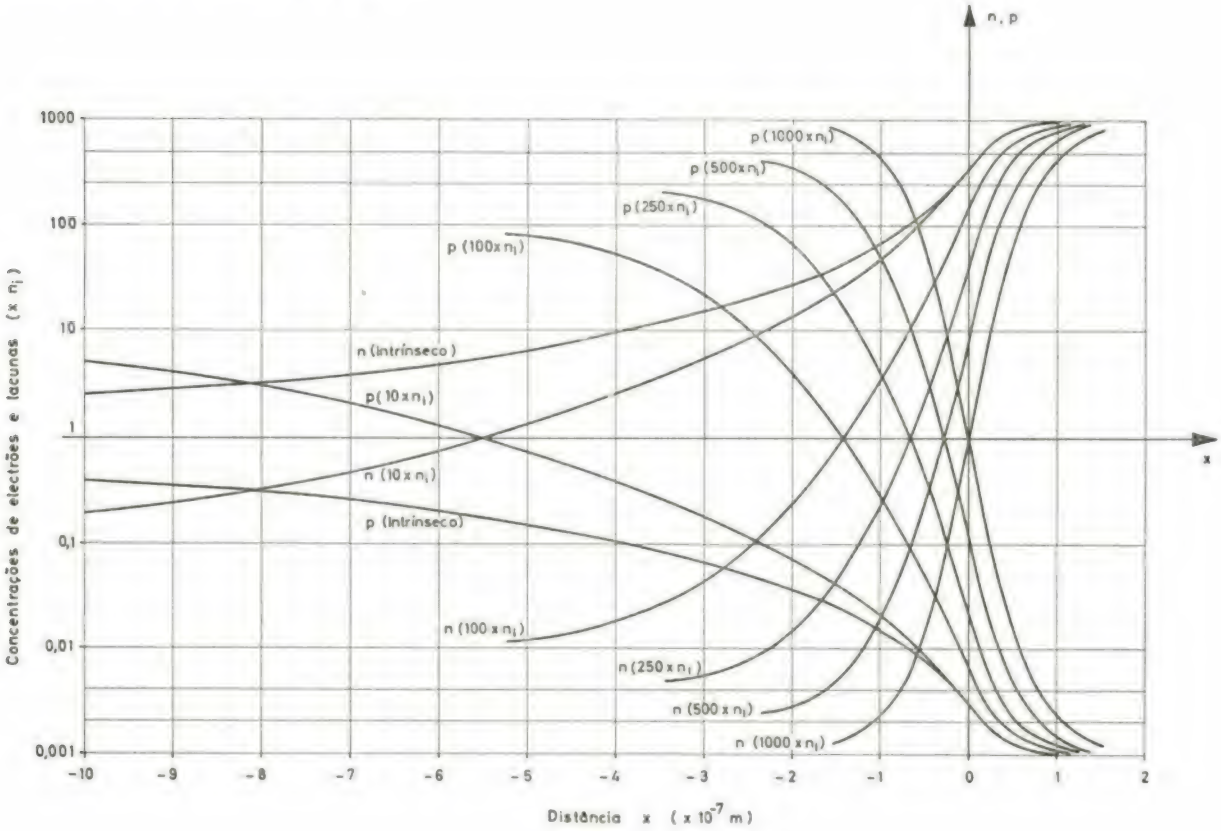


Fig. 9

Verifica-se então que, quanto mais pobre em centros aceitadores for o meio (p), mais ele se deixa penetrar pelos electrões do meio (n), o que conduz a um maior afastamento entre os planos intrínseco e de separação. No caso da junção I — N, $x_i = -\infty$, e a densidade de electrões é em todos os pontos superior à de lacunas.

Uma tentativa de explicação heurística destes factos, não tomando em consideração a maneira como na prática se realizam as junções, é a seguinte:

— Admite-se um regime livre em que, no instante do estabelecimento da junção, não existem campos eléctricos, de modo que as primeiras correntes que se verificam são as de difusão. Estas podem-se escrever:

$$J d_n = e D_n \frac{\partial n}{\partial x} \qquad J d_p = - e D_p \frac{\partial p}{\partial x}$$

[1] Em módulo.

Admitindo $D_p \approx D_n$, (na realidade não diferem em ordem de grandeza), a relação entre estas duas correntes é:

$$\frac{J\,d_n}{J\,d_p} = -\frac{D_n}{D_p} \cdot \frac{\delta n}{\delta p} \approx -\frac{\delta n}{\delta p}$$

Ora δ_n e δ_p só existem na vizinhança do plano de separação e valem:

$$\delta_n = (n_2 - n_1) \qquad \delta_p = -(p_1 - p_2)$$

Mas, para todos os casos tratados é sempre $n_2 >> n_1$ e $p_1 >> p_2$, de modo que resulta:

$$\frac{J\,d_n}{J\,d_p} \approx \frac{n_2}{p_1} > 1$$

Então, exceptuando o caso da junção simétrica, no instante inicial, a corrente de difusão de electrões é substancialmente maior que a de lacunas. Como estas correntes de difusão iniciais não são ainda completamente neutralizadas pelas respectivas correntes de condução, é esta falta de neutralização que vai permitir a formação da barreira de potencial), não custa a admitir que, até se atingir o estado de equilíbrio, tenham passado muito mais electrões do meio (n) para o meio (p) do que lacunas em sentido inverso. Fìsicamente tudo se passaria como se o meio (p) fosse ràpidamente invadido por um grande número de electrões, justificando-se assim a existência de uma predominância destes numa região pertencendo a um meio (p). Uma vez atingido o equilíbrio, com a igualdade das correntes de difusão e condução, prevalece indefinidamente o efeito do regime livre admitido, pois já nada em média depende do tempo. Compreende-se, deste modo, que o meio inicialmente mais rico em portadoras consiga impor o seu carácter no domínio do meio mais pobre.

Surge no entanto um problema: — Ao estudarmos a junção simétrica concluiu-se ser $x_i = 0$. Se bem que sejam neste caso iguais em módulo os gradientes iniciais das concentrações, são contudo ligeiramente diferentes os coeficientes de difusão. E, se é certo que, no regime forçado electrostático, as relações de Einstein (5) permitem eliminar das equações básicas do fenómeno a influência das mobilidades, aqui, num regime livre hipotético, não é pelo menos evidente que essa ligeira diferença não destrua a simetria encontrada para as distribuições de electrões e lacunas, em relação ao plano de separação. Aqui fica exposta a dificuldade, esperando-se que o estudo da estatística de Fermi, voluntàriamente omissa neste trabalho, a consiga explicar satisfatòriamente.

G — COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS COM OS QUE SE DETERMINAM A PARTIR DE HIPÓTESES SIMPLIFICATIVAS

Sendo pràticamente impossível medir experimentalmente as grandezas que interessam ao estudo da junção em regime electrostático, e havendo expressões aproximadas que as permitem calcular, uma aplicação adequada da teoria exposta será a de servir de instrumento de aferição dessas expressões, uma vez que nesta se não cometem aproximações no que diz respeito à variação no espaço.

Uma das hipóteses simplificativas mais correntes, devida a Schottky, consiste em considerar que a densidade de carga se anula em toda a parte, excepto na zona de transição, onde apresenta valores constantes, [eN_{d2} em (n) e $-eN_{a1}$ em (p)]. Isto conduz evidentemente a um campo eléctrico variando linearmente em x e a um potencial de variação quadrática. Apresentam-se, sem demonstração, as expressões mais importantes para a comparação em vista:

$$\begin{cases} \dfrac{d^2V'}{dx^2} = -\dfrac{e}{\varepsilon} N_{d2} & 0 < x \leqslant d'_2 \quad (n) \\[2ex] \dfrac{d^2V'}{dx^2} = \dfrac{e}{\varepsilon} N_{a1} & -d'_1 \leqslant x < 0 \quad (p) \end{cases} \qquad (20)$$

$$\begin{cases} \dfrac{dV'}{dx} = -\dfrac{e}{\varepsilon} N_{d2}\, x + \dfrac{e}{\varepsilon} N_{d2}\, d'_2 & 0 < x \leqslant d'_2 \quad (n) \\[2ex] \dfrac{dV'}{dx} = \dfrac{e}{\varepsilon} N_{a1}\, x + \dfrac{e}{\varepsilon} N_{a1}\, d'_1 & -d'_1 \leqslant x < 0 \quad (p) \end{cases} \tag{21}$$

$$\begin{cases} V' = -\dfrac{e}{\varepsilon} N_{d2} \dfrac{x^2}{2} + \dfrac{e}{\varepsilon} N_{d2}\, d'_2\, x + V_o & 0 < x \leqslant d'_2 \quad (n) \\[2ex] V' = \dfrac{e}{\varepsilon} N_{a1} \dfrac{x^2}{2} + \dfrac{e}{\varepsilon} N_{a1}\, d'_1\, x + V_o & -d'_1 \leqslant x < 0 \quad (p) \end{cases} \tag{22}$$

$$E'_{máx} = \frac{e}{\varepsilon} N_{a1}\, d'_1 = \frac{e}{\varepsilon} N_{d2}\, d'_2 \tag{23}$$

$$\begin{cases} d'_2 = \sqrt{Ud \cdot \dfrac{2\varepsilon}{e} \cdot \dfrac{N_{a1}}{N_{d2}} \dfrac{1}{(N_{a1} + N_{d2})}} \\[2ex] d'_1 = \sqrt{Ud \cdot \dfrac{2\varepsilon}{e} \cdot \dfrac{N_{d2}}{N_{a1}} \dfrac{1}{(N_{a1} + N_{d2})}} \end{cases} \tag{24}$$

$$C'_{eq} = \frac{\varepsilon}{(d'_2 + d'_1)} \tag{25}$$

A zona de transição é agora definida por $x = -d'_1$ em (p) e $x = d'_2$ em (n). Note-se que neste caso é sempre $N_{a1} \cdot d'_1 = N_{d2}\, d'_2$, o que apenas representa a continuidade do campo eléctrico e a neutralidade da carga.

QUADRO N.º 2

	Densidade de Centros Aceitadores em (p) — (N_{a1})					
	1000 . n_i	500 . n_i	250 . n_i	100 . n_i	10 . n_i	0 . n_i
d'_2 (10^{-7} m)	1,165	0,93	0,70	0,455	0,134	0
d'_1 (10^{-7} m)	1,165	1,86	2,80	4,55	13,4	∞
% V_2 em d'_2	92,0	90,0	84,0	71,0	25,0	0,0
% V_1 em $-d'_1$	92,0	94,8	95,2	96,0	96,6	100,0
$-E_{máx.}$ (kV/cm)	28,35	22,49	17,03	11,78	7,50	7,06
$-E'_{máx}$ (Schottky)	30,64	24,46	18,41	11,97	3,52	0,00
Erro relativo a $E_{máx.}$	+ 8,0 %	+ 8,7 %	+ 8,1 %	+ 1,6 %	— 53,0 %	— 100 %
C_{eq} (pF/mm²)	699	585	463	330	171	228
C'_{eq} (Schottky)	624	524	416	292	108	000
Erro ralativo a C_{eq}	— 10,7 %	— 10,4 %	— 10,1 %	— 11,5 %	— 36,8 %	— 100 %
$d'_2 + d'_1$ (10^{-7} m)	2,330	2,79	3,50	5,005	13,534	∞
Dist. entre (90 % V_2 / 90 % V_1) (10^{-7} m)	2,06	2,48	3,11	4,36	10,19	13,62
Δx (98 % V_2 / 98 % V_1) (10^{-7} m)	3,08	3,70	4,76	6,58	≈ 16,3	≈ 24,2
Relação $\dfrac{\Delta x}{d'_2 + d'_1}$	1,32	1,33	1,36	1,32	1,20	—

Com estas expressões e usando as mesmas constantes (Germânio — 300° K), calcularam-se para os seis casos estudados em F, as seguintes grandezas: — Distâncias d'_1 e d'_2, campo eléctrico máximo ($E'_{máx}$) e a capacidade equivalente (C'_{eq}).

Como no método descrito neste trabalho as distâncias d_1 e d_2 são ambas infinitas, não permitindo uma comparação directa, só a indicação das percentagens das diferenças de potencial V_2 e $-V_1$, que se medem respectivamente em $x = d'_2$ e $x = -d'_1$, poderá averiguar do rigor da hipótese de Schottky, neste aspecto. Os campos eléctricos, bem como as capacidades equivalentes comparam-se imediatamente. O quadro de valores reune os elementos mais importantes para a comparação proposta.

Resumidamente podemos dizer que:

a — Não se cometem grandes êrros no cálculo da maior distância de penetração, d'_1. No entanto as expressões aproximadas não satisfazem quando se calcula a penetração no meio mais rico em impurezas. Na realidade, nas figs. 7 e 9 se pode constatar que esta distância de penetração nunca se anula, e que, sendo pouco sensível à diminuição de N_{a1}, permanece quase constante para os três últimos casos estudados.

b — Verifica-se que a espessura da barreira (Δx) excede em cêrca de 30 % a largura da zona de transição calculada pelas expressões (24). Nota-se que, mesmo no caso da junção I-N, Δx é muito pequena (da ordem de grandeza do micron).

c — Quanto ao campo eléctrico máximo, uma vez que, na hipótese considerada, a existência de variações no espaço se confina a uma zona finita, compreende-se que se tenham encontrado agora valores mais elevados, visto que a diferença de potencial U_d se calcula da mesma maneira.

d — Para a capacidade equivalente, admitindo-se a analogia do condensador plano, isto é, toda a carga Q separada da carga $-Q$ por $(d'_1 + d'_2)$, é também natural que se tenham obtido valores mais baixos através da expressão aproximada, porque, na realidade, as maiores densidades de carga se encontram na vizinhança do plano de separação.
No entanto, para ambas as grandezas ($E_{máx.}$ e C_{eq}), no caso das fracas concentrações de aceitadores, o método de Schottky falha também, quando as faz tender para zero com N_{a1}, em desacordo com os resultados calculados em F, usando o método exposto.

e — Quanto às variações no espaço, podemos recorrer novamente à fig. 8, onde, a traço mais fino se marcaram os resultados da aplicação das expressões (20) a (22) ao estudo do mesmo caso. As conclusões mais importantes são:

— Nota-se como se esperava uma grande diferença nos diagramas da densidade de carga. De facto, esta decresce ràpidamente na vizinhança do plano de separação, apresentando derivadas iguais em $x = \pm 0$, por continuidade das correntes de difusão.

$$\frac{d\rho_x}{dx} = -e\frac{d}{dx}[n_x - p_x + N_a - N_d] = -e\left[\frac{dn_x}{dx} - \frac{dpx}{dx}\right] = -\left(\frac{Jd_n}{D_n} + \frac{Jd_p}{D_p}\right) \quad \begin{matrix} x > 0 \\ x < 0 \end{matrix} \qquad (26)$$

— Há já uma grande semelhança nas duas barreiras de potencial, como resultado das duas integrações sucessivas.

Apesar de todas estas considerações, não se pretende, como é óbvio, fazer uma crítica sobre o valor da hipótese de Schottky (1), dado que os poucos casos analisados não permitem uma generalização das conclusões.

---

(1) — Na literatura consultada faz-se referência a uma análise matemática detalhada, que justificaria esta hipótese e que não foi possível consultar.

Contudo podemos notar que:

— A sua aplicação ao estudo de junções com concentrações de impurezas muito diferentes, conduziu (quadro n.º 2) a erros exagerados.

— Parece justificar-se a sua utilização sempre que, não sendo grande a relação $\frac{N_{d2}}{N_{a1}}$ (1), se pretendam resultados rápidos e significativos.

— Para junções fortemente assimétricas tudo indica que se deve recorrer a um método mais rigoroso, pois só com certa reserva se podem utilizar as expressões aproximadas.

H — CONCLUSÃO

Como síntese deste trabalho, apresentam-se, novamente, os resultados mais significativos:

a — Estabelecimento de um método bastante rigoroso para o estudo da junção P-N na ausência de corrente.

b — Aplicação desse método à resolução de alguns casos concretos, com a indicação de valores típicos para as diversas grandezas físicas.

c — Justificação empírica da validade da hipótese de Schottky para pequenas diferenças nas concentrações de impurezas.

d — Possibilidade de afirmar que, mesmo no caso mais desfavorável, a zona de transição é muito pequena em relação às dimensões usuais de realização das junções. Este facto torna válida a hipótese de se assimilar a barreira de potencial a uma função escalão em $x = 0$, quando mais tarde se estudar a junção sujeita a campos aplicados. De facto, no estudo da junção polarizada e no caso particular de Schockley (fraca recombinação), define-se uma nova grandeza — comprimento de difusão — em face da qual é desprezável a espessura da zona de transição.

BIBLIOGRAFIA

Incluiem-se nesta lista apenas os autores que contribuiram directamente para a realização deste trabalho. A ordem seguida corresponde à da importância dessa contribuição.

Abreu Faro — Apontamentos do seminário sobre semicondutores iniciado no I. S. T. em Novembro de 1962.

Abreu Faro — «Transistores» — Apontamentos das lições proferidas no L. N. E. C. em Maio de 1960.

E. Spenke — «Semiconducteurs Électroniques» — Dunod — 1959.

K Spangenberg — «Fundamentals of Electron Devices» — McGraw Hill — 1957.

H. W. Loeb — «The Calculation of Space-Charge Layer Widths, Maximum Field and Junction Capacitance of P-N Junctions with Arbitrary Impurity Profiles» — J. Electronics and Control (GB) — vol. 12 — n.º 1 — 31-48 — Jan. 1952.

E. M. Conwell — «Properties of Silicon and Germanium : II» — Proceedings of the IRE — vol. 46 — n.º 6 — 1281 - 1300 — Jun. 1958.

SOMMAIRE

On étudie, dans cet article, la jonction semiconductrice abrupte, dans l'absence de courant.

On emploie les équations fondamentales, qui, macroscopiquement, permettent de caracteriser électriquement les semiconducteurs.

Il est donc possible d'écrire, d'une façon générale, l'équation de Poisson, dont l'intégration numérique conduit à l'établissement d'une méthode rigoureuse pour l'étude de la jonction.

(1) — Por exemplo $0{,}1 \leqslant \frac{Nd_2}{Na_1} \leqslant 10$.

On applique cette méthode à la détermination de plusieurs grandeurs physiques, qui caractérisent quelques jonctions de Germanium ayant différentes concentrations d'impurités.

On peut conclure que la barrière de potenciel se localise dans une région — «zone de transition» — d'une épaisseur très petite relativement aux dimensions usuelles des jonctions réalisées pratiquement.

La méthode établie permet encore de discuter la validité de certaines approximations usées couramment. On a examiné spécialement le cas de l'hypothèse de Schottky, ayant établi empiriquement ses limites d'utilisation.

SUMMARY

The sudden semicondutive junction in the absence of current is studied in this paper.

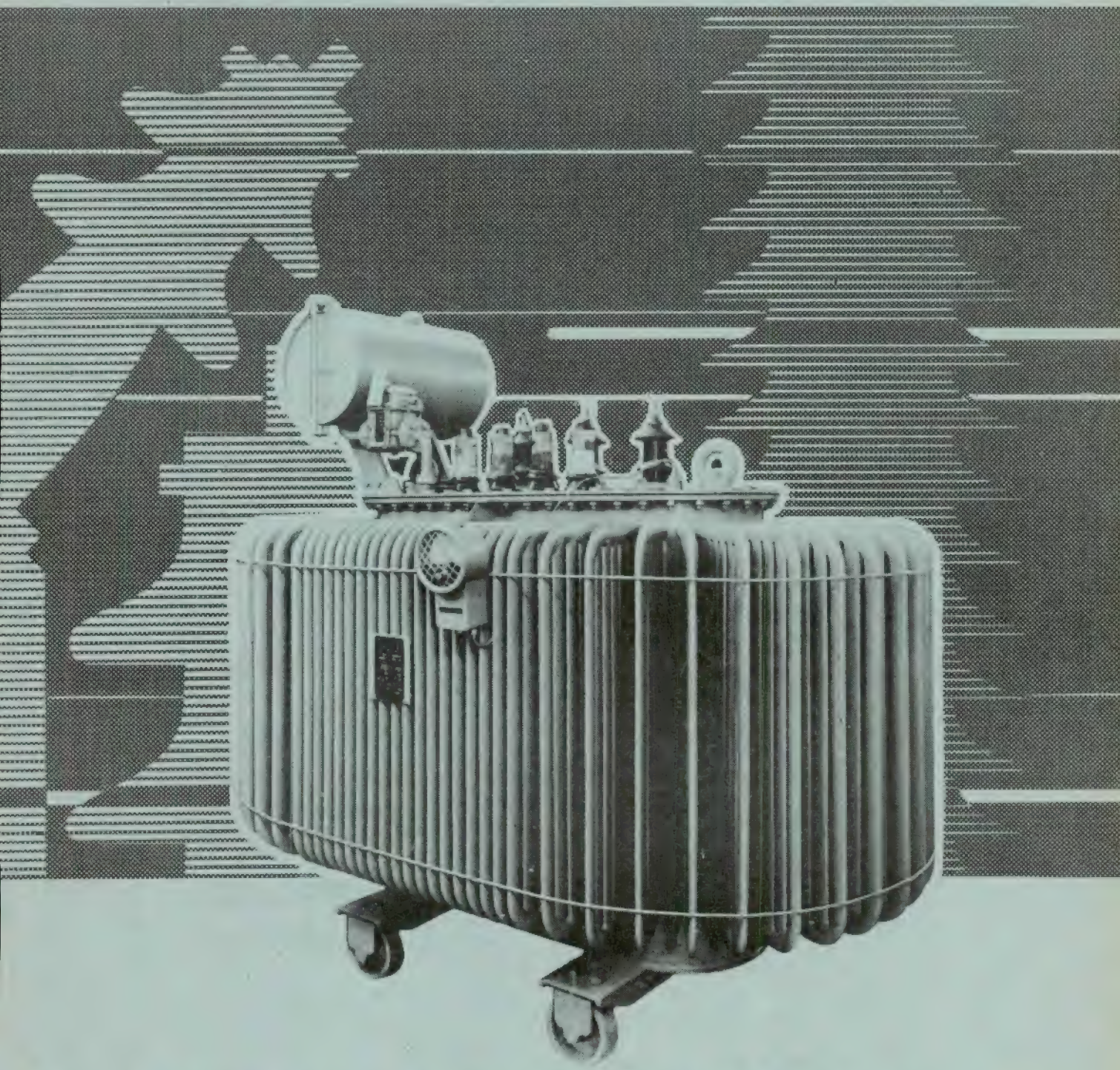
We used the fundamental equations which, from the macroscopic point of view, characterise electrically the semiconductors. So, the Poisson equation may be written, in a general form, whose numerical integration leads to the establishment of an accurate method for the study of the junction.

This method is applied to determine several physical magnitudes, which characterise some Germanium junctions, having different concentrations of impurities.

We conclude that the potencial barrier is located in a very thin «transition zone» in relation to the dimensions of experimental junctions.

The established method permits to discuss the accuracy of certain approximations currently applied. The case of the hypothesis due to Schottky, was examined, having been established empirically its range of applicability.

SIEMENS



TRANSFORMADORES MOTRA ATÉ 30 MVA E 60 KV

FABRICADOS SOB LICENÇA SIEMENS-SCHUCKERTWERKE AG

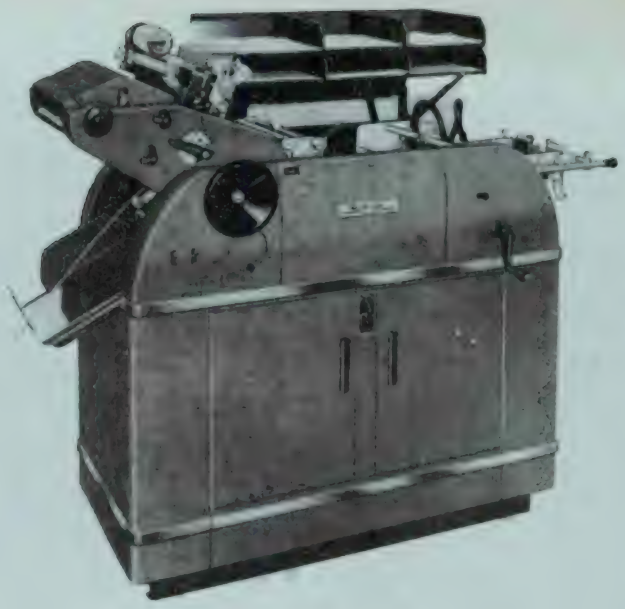
REPRESENTANTES E DISTRIBUIDORES

SIEMENS COMPANHIA DE ELECTRICIDADE, S. A. R. L.

LISBOA • PORTO

o duplicador 'offset'
escolhido
pela A. E. I. S. T.

Multilith



representante:

MODERN OFFICE, LDA.

rua do alecrim, 107 – telef. 323465

LISBOA

este anúncio foi composto em VARITYPER e HEADLINER

os anúncios das páginas azuis foram impressos em duplicador MULTILITH

SOCIEDADE INDUSTRIAL METALURGICA

Responsabilidade Limitada

(REGISTADO)

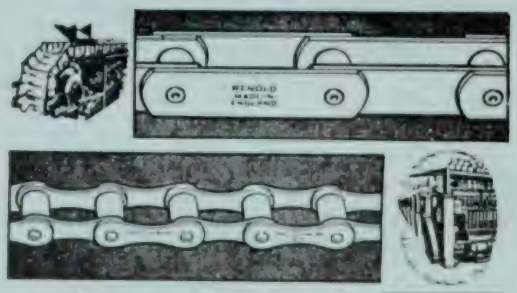
SERRALHARIAS,
CALDEIRARIA,
FERRARIA,
FUNDIÇÕES

ESCRITÓRIO

Rua de S. Tiago, 13

LISBOA

Telefone 861972



RENOLD

o PRIMEIRO nome em correntes de precisão

Representantes e depositários

HARKER, SUMNER & Ca. Lda.

PORTO
38 Rua de Ceuta, 48
Telef: 27054-P.P.C. (4 linhas)

LISBOA
14 Largo do Corpo Santo, 18
Telef: 24823

RENOLD CHAINS LIMITED • MANCHESTER
REPRESENTANTES EM TODO O MUNDO

C. D. U. 691.328 : 539.37

REFLEXÕES SOBRE A FISSURAÇÃO E DEFORMAÇÃO NO BETÃO ARMADO

LUÍS AROUCA
ANTÓNIO MEXIA HEITOR
Eng.os Civis (I. S. T.)

Este artigo foi elaborado a partir da análise dos problemas da fissuração e deformação no betão armado da autoria do **Dr.-Ing. Wilhelm Boyer**, *E. V. G., Graz, parcialmente publicada sob o título «Rissbildung und Verformung des Stahlbetons und ihre Verhütung», na revista «Schweizer Archiv», Juli 1962.*

Agradecer ao Dr.-Ing. Wilhelm Boyer a amável anuência que deu à plena utilização do seu trabalho e toda a colaboração prestada, é um dever que os autores gostosamente cumprem.

1. INTRODUÇÃO

A utilização de tensões cada vez mais elevadas, quer para os aços quer para os betões, permitida pela generalizada aplicação de aços de alta resistência e pela melhoria de qualidade dos betões que se empregam no actual dimensionamento de betão armado, tem possibilitado uma apreciável redução das dimensões das peças ou consideráveis aumentos dos seus vãos livres.

Resulta evidente que a consideração do problema da fissuração e da deformação das peças, passa a revestir-se duma acuidade que não era habitual no, diga-se, dimensionamento tradicional em betão armado, constituindo mesmo eventualmente os critérios de ruina por fissuração ou deformação aqueles que em alguns casos extremos passam a condicionar o dimensionamento.

No entanto, avoluma-se demasiadas vezes, em abstracto, a importância de per si ou conjunta dos problemas da fissuração e da deformação. Sem dúvida que ambos os problemas são pertinentes no actual dimensionamento em betão armado, mas parece útil e oportuno tentar delimitar a sua problemática e efectiva repercussão no dimensionamento e real comportamento das estruturas.

O betão armado é, pela sua constituição, um material heterogéneo sujeito a esforços não só resultantes das solicitações exteriores mas igualmente das desiguais condições de comportamento dos seus componentes durante a construção e vida da peça.

Como o betão tem pequena resistência aos esforços de tracção, resulta que, mesmo em condições normais de trabalho, parte do betão que existe na zona de tracção está fissurado, tendo esta fissuração grande importância para o problema das deformações. As deformações duma estrutura não fissurada podem ser calculadas pelos métodos correntes de estabilidade. Mas já o estudo das deformações duma estrutura parcialmente fissurada envolve o conhecimento do mecanismo da fissuração e o da sua acção na deformação. Haverá pois, que localizar primeiramente as zonas fissuradas das peças e só depois será possível determinar as suas deformações.

Parece pois lógico começar por analisar o fenómeno da fissuração.

2. A FISSURAÇÃO NO BETÃO ARMADO

2.1 *Do comportamento do Betão Armado à tracção*

O diagrama das tensões-extensões do betão, apresentado na fig. 1a, permite concluir que apenas para valores baixos das tensões de tracção é possível considerar uma proporcionalidade entre as

tensões e as extensões, inflectindo o diagrama muito ràpidamente até alcançar a extensão ε_c correspondente à rotura.

Pode considerar-se de uma forma simplificada, e de acordo com o critério correntemente seguido, tanto para a tracção como para a compressão, que o diagrama é formado por uma recta *a b*, em que há proporcionalidade entre tensões e extensões, e por outra *b c* paralela ao eixo das extensões, em que se realiza uma extensão sem aumento de tensão, até à extensão de rotura ε_c.

Alguns dos modernos regulamentos estrangeiros de betão armado definem valores diferentes para as tensões de rotura em tracção pura e em tracção por flexão, como é o caso do regulamento suíço (normas SIA), que apresenta para a tensão de rotura em tracção pura o valor

$$\sigma'_{br} = 1{,}2 \text{ a } 1{,}5 \sqrt{\sigma_{br}}$$

e para a tensão de rotura em tracção por flexão o valor

$$\sigma'_b = 3 \sqrt{\sigma_{br}}$$

em que σ_{br} é a tensão de rotura em compressão, em cubos ensaiados aos 28 dias.

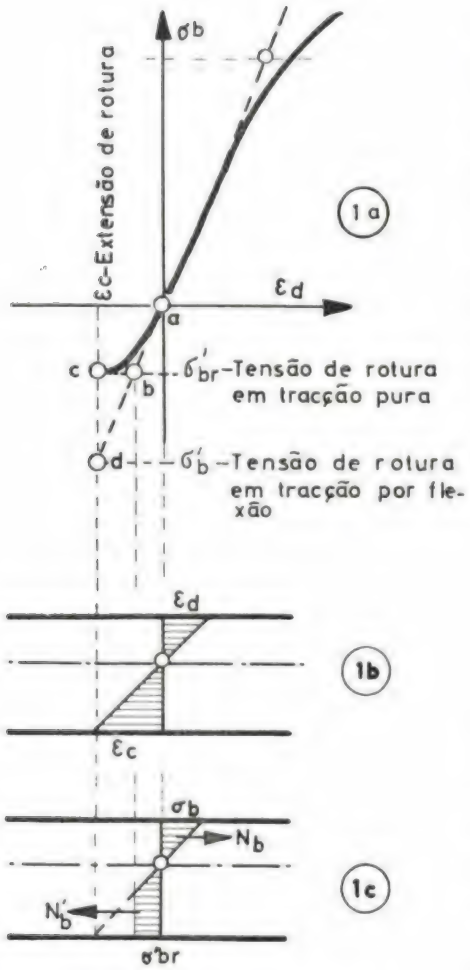


Fig. 1a Diagrama tensões-extensões
Fig. 1b Viga à flexão — diagrama das extensões
Fig. 1c Viga à flexão — diagrama das tensões

Estes valores foram determinados experimentalmente e traduzem a efectiva discrepância que se observa por, no cálculo corrente, se determinarem as tensões em função das noções de momento de inércia e momento resistente das secções, pressupondo a equivalência tensões-extensões até a rotura. Por outras palavras, a apresentação de fórmulas diferentes para traduzir um mesmo fenómeno, compreende-se, por não ser corrente a utilização da efectiva expressão que relaciona as tensões com as extensões traduzida no diagrama tensões-extensões, mas uma outra que exprime as tensões como quociente entre os momentos flectores existentes nas secções e os seus momentos resistentes, o que, se lícito no campo de valores correspondente à recta de proporcionalidade do diagrama, não o é de forma alguma no campo de valores correspondente à recta paralela ao eixo das extensões.

2.2 *Do comportamento duma peça de betão simples solicitada em flexão pura.*

De acordo com a hipótese de Navier de manutenção das secções planas, as extensões numa secção duma barra flectida variam segundo o diagrama linear expresso na fig. 1b.

Verifica-se que na fibra mais traccionada da secção, haverá uma fissura quando se passa para além do valor da extensão de rotura ε_c referida no diagrama de tensões-extensões (fig. 1a).

Até ao ponto *b* do diagrama, há proporcionalidade entre as tensões e extensões. Em *b*, atinge-se o valor máximo da tensão σ'_{br}. Segundo a recta *b c*, as extensões no betão podem ainda aumentar até ao valor ε_c sem que, contudo, a tensão ultrapasse o valor σ'_{br}.

A inflexão do diagrama de tensões-extensões, pode ser expresso em função da extensão ε_b

$$\varepsilon_b = \frac{\sigma'_{br}}{E_b}$$

no ponto b, e da extensão de rotura ε_c no ponto c.

Assim

$$\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_b} = \beta = \frac{\varepsilon_c}{\sigma'_{br} / E_b} \tag{1}$$

Designar-se-á o valor — β — por coeficiente de curvatura.

As características geométricas relativas à fig. 1, estão explicitadas na fig. 2.

Tem-se

$$\frac{\varepsilon_b}{y} = \frac{\varepsilon_c}{h_t - x} \therefore y = \frac{1 - x}{h_t}$$

e (2)

$$\frac{\sigma_b}{x} = \frac{\beta \sigma'_{br}}{h_t - x} \therefore \sigma_b = \beta \sigma'_{br} \frac{x}{h_t - x}$$

Exprimindo a condição de equilíbrio $N_b = N'_b$, supondo a secção rectangular de largura b, e designando

$$\delta x = \frac{x}{h_t} \; ; \; \delta y = \frac{y}{h_t}$$

tem-se

$$\sigma'_{br} \; b \; h_t \left(1 - \delta x - \frac{\delta y}{2}\right) = \sigma_b \; b \; h_t \; \frac{\delta x}{2} \tag{2a}$$

Substituindo valores a partir da expressão (2), a posição do eixo neutro vem dada por uma equação do 2.° grau em função de β.

$$\beta^2 \, \delta x^2 - (1 - \delta x^2) \, (2\beta - 1) = 0$$

$$\delta x = \frac{2\beta - 1}{(\beta - 1)^2} \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{(\beta - 1)^2}{2\beta - 1}} \right] \tag{3}$$

A partir da expressão (3), que dá o valor de δ_x, é fácil achar o momento M_r que provoca a fissuração. Supondo ainda a secção rectangular de largura b, a partir do equilíbrio de momentos e de acordo com as figs. 2 e 3, tem-se

$$M_r = \sigma'_{br} \; b \left[\frac{y \, (x + y)}{3} + (h_t - x - y) \left(\frac{h_t}{2} + \frac{x}{6} + \frac{y}{2} \right) \right]$$

ou seja

$$M_r = \sigma'_{br} \; b \; h_t^2 \left[\frac{\delta_y \, (\delta_x + \delta_y)}{3} + (1 - \delta_x - \delta_y) \left(\frac{1}{2} + \frac{\delta_x}{6} + \frac{\delta_y}{2} \right) \right] \tag{4}$$

e simplificando

$$M_r = \sigma'_{br} \; b \; h_t^2 \left[\frac{1}{2} - \frac{\delta_x}{3} - \frac{(\delta_x + \delta_y)^2}{6} \right]$$

Como se conhecem os valores de δ_x e δ_y em função de β, é fácil obter o valor de M_r em função de β.

A partir desta expressão, é possível obter a relação existente entre σ'_{br} (tensão de rotura do betão em tracção pura) e σ'_b (tensão de rotura do betão em tracção por flexão). Se for W o momento resistente da peça calculado segundo a teoria corrente, que admite proporcionalidade entre tensões e extensões, tem-se

$$M_r = \sigma'_b \, W$$

e portanto

$$\frac{\sigma'_b}{\sigma'_{br}} = \frac{b\,h_t^2}{W}\left[\frac{1}{2} - \frac{\delta_x}{3} - \frac{(\delta_x + \delta_y)^2}{6}\right]$$

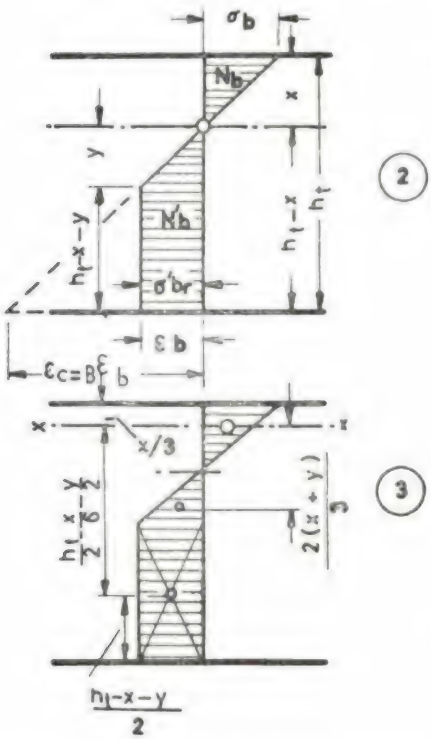


Fig. 2 — Tensões de tracção e compressão no caso de flexão

Fig. 3 — Centros de gravidade das tensões

Na tabela seguinte, apresentam-se os valores desta relação calculados para diversos valores de β:

β	1	2	3	4	5
σ'_b/σ'_{br}	1	1,53	1,74	1,86	2

A curva $\sigma'_b/\sigma'_{br} = f(\beta)$ pode ser traduzida duma forma simplificada, pelas expressões

$$\sigma'_b/\sigma'_{br} \quad \begin{cases} \text{no domínio 1 a 1,74} \text{ ——— } \beta = 2{,}7\,\dfrac{\sigma'_b}{\sigma'_{br}} - 1{,}7 \\ \text{no domínio 1,74 a 2} \text{ ——— } \beta = 7{,}69\,\dfrac{\sigma'_b}{\sigma'_{br}} \quad 10{,}36 \end{cases} \qquad (5)$$

Inversamente, conhecendo as tensões de rotura em tracção pura σ'_{br} e em tracção por flexão σ'_b, é possível determinar β e a partir dele conhecer o andamento do diagrama de tensões-extensões.

A noção atrás introduzida, de coeficiente de curvatura $-\beta-$ relativa ao diagrama de tensões-extensões, permite deduzir as seguintes conclusões:

— O valor da tensão de rotura por tracção em flexão não se define univocamente, sendo função da forma da peça (rectangular T, L, etc.). Quanto maior é o valor de β tanto mais dispares são os valores da resistência à tracção em flexão, em secções diferentes da rectangular relativamente aos valores obtidos para as secções rectangulares.

— A medição de extensões no betão, mesmo no campo das tensões admissíveis, não permite obter as correlativas tensões sem a consideração do efeito do coeficiente β.

2.3 *Determinação do momento de fissuração em peças de betão simples*

Determina-se a seguir, e a partir da noção de coeficiente de curvatura β, o momento de fissuração nos casos mais correntes.

a) — Flexão simples de viga rectangular.

Da forma como se introduziu a noção do coeficiente de curvatura β, resulta evidente que neste caso, o momento de fissuração é dado pelo produto de σ'_b (tensão de rotura em tracção por flexão) pelo módulo de resistência W.

b) — Flexão simples de viga T para $M > 0$.

Neste caso, como a forma da secção na zona traccionada é semelhante à da viga rectangular, a diminuição da resistência à tracção por flexão, que se compreende pelo deslocamento do eixo neutro em relação ao da secção rectangular, é pequena, podendo desprezar-se.

Pode seguir-se sem grande erro, um critério análogo ao da alínea anterior para a determinação do momento de fissuração.

c) — Flexão simples de viga T para $M < 0$.

Neste caso, como a laje está situada na zona traccionada, a influência de β é muito importante. Verifica-se experimentalmente, que o momento de fissuração é muito influenciado pela largura da laje interessada na resistência da viga, constatando-se que, quanto maior é o vão da laje perpendicular a uma viga T, menor é a possibilidade de aparecerem fendas na zona dos momentos negativos dessa viga.

A introdução do coeficiente de curvatura β permite explicar a razão de ser deste fenómeno.

Na fig. 4 a, foi desenhado a partir dum eixo AA, a curva BBB das tensões existentes na laje de acordo com a teoria da elasticidade (ver Girkmann, Flächentragwerke, 4.ª edição, fig. 67).

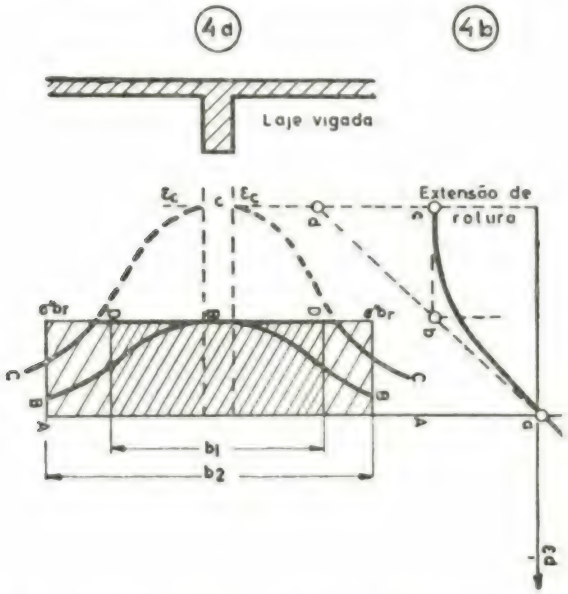


Fig. 4 — Relação entre o diagrama tensões — extensões e a zona da laje que trabalha a tracção

Esta curva só é válida para uma proporcionalidade perfeita entre tensão e extensão, quer dizer, até ao ponto *b* do diagrama de tensões-extensões da fig. 4b. No caso dessa curvatura seguir em linha recta até *d*, ter-se-ia uma distribuição de tensões conforme CCC. Porém como o valor da tensão de tracção não pode ultrapassar σ'_{br}, pouco antes do aparecimento das primeiras fissuras ter-se-á uma distribuição de tensões do tipo CDDC.

À distribuição de tensões BBB corresponderá aproximadamente uma largura de laje interessada b_1, e para a distribuição CDDC uma largura de b_2, portanto muito maior. Assim, atendendo ao andamento real do diagrama tensões-extensões, verifica-se que a largura da laje que intervém no funcionamento da viga aumenta bastante antes do início da fissuração. Determinar-se-á a seguir, por uma forma simplificada, a largura b_1 da laje interessada na flexão da viga segundo a teoria da elasticidade.

De acordo com Girkmann (fig. 69c, obra citada) quando $M < 0$, tal largura é igual à largura da laje interessada sob a acção duma carga concentrada, sendo o seu valor de 0.2L para cada lado da viga (onde L é o vão da viga).

A influência do coeficiente de curvatura β no aumento de largura da laje interessada de b_1 para b_2 pode ser determinada por um método gráfico. A partir do desenho dos diagramas de distri-

buição ABBBA, ACDDCA, etc., para valores $\beta = 1, 3, 5$, etc., e substituindo-os por rectângulos de altura σ'_{br} e de área equivalente, obtêm-se para as suas larguras respectivamente os valores b_1, $2b_1$, $3b_1$, etc.

A correlação entre estes dois valores pode ser traduzida pela expressão

$$b = \frac{b_1}{2} (\beta + 1)$$

Verifica-se assim que, nos apoios, a largura de laje interessada na flexão duma viga T é de cerca de $0.2L\ (\beta + 1)$.

Como na maioria dos casos, este valor é superior ao afastamento entre vigas, deverá ser este último valor o considerado. Se, porém, o afastamento entre vigas for grande, então há possibilidade de uma larga faixa receber tensões de tracção, melhorando grandemente as condições de trabalho da viga.

Por um fenómeno semelhante se explica o facto de, em lajes e outras peças bidimensionais de betão armado, mesmo que sujeitas a grandes cargas concentradas, haja um pronunciado retardamento do começo da fissuração, pois devido às extensões do betão na fase *bc* do diagrama da fig. 2a, a zona interessada é grandemente aumentada sem que se chegue a ultrapassar o valor limite ε_c.

No entanto, se este for ultrapassado, as fissurações que aparecem são de grande comprimento interessando toda a zona traccionada.

Determina-se em seguida, com apoio nas conclusões anteriores, o valor do momento de fissuração.

Como simplificação prescinde-se, como habitualmente, da contribuição da zona da nervura trabalhando à tracção.

Convencionando

$$b = \rho \times b_o; \quad h_o = \mu\, h_t; \quad \delta_x = \frac{x}{h_t}$$

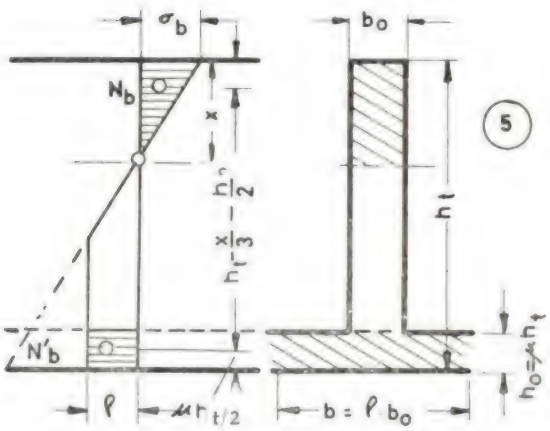


Fig. 5 — Vigas T para M < 0

e utilizando as relações geométricas expressas nas figs. 2 e 3, obtém-se a partir da condição de equilíbrio $N_b = N'_b$ e conforme a fig. 5

$$\sigma_b\, b_o\, \delta x\, \frac{h_t}{2} = \sigma'_{br}\, \rho\, b_o\, \mu\, d$$

e

$$\sigma_b = \beta\, \sigma'_{br}\, \frac{x}{h_t - x}$$

A posição do eixo neutro virá

$$\delta_x = \frac{\rho\, \mu}{\beta} \left[-1 + \sqrt{1 + 2\beta / \rho\, \mu} \right]$$

O momento de fissuração será obtido notando que a resultante das tensões de tracção é dada por

$$N'_b = \sigma'_{br}\, b_o\, \rho\, \mu\, h_t$$

e o braço do binário elástico por

$$\left(h_t - \frac{x}{3} - \frac{h_o}{2} \right)$$

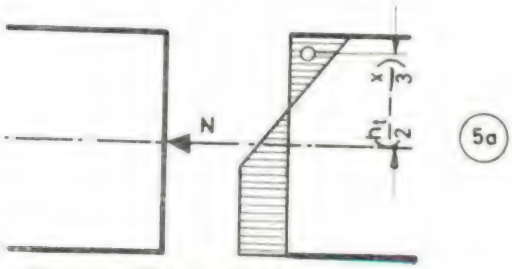


Fig. 5a — Distribuição de tensões por flexão com esforço axial

Então

$$M_r = \sigma'_{br}\, b_o\, h_t^2\, \mu\, \varrho\, (1 - \delta x/3 - \mu/2) \tag{6}$$

d) — Secção rectangular sujeita a momento flector e esforço axial de tracção ou compressão.

Este caso tem grande interesse, visto o esforço axial de tracção facilitar a formação de fissuras.

Considerando a expressão (2), entrando com a força axial na expressão de equilíbrio de forças (2a) e convencionando

$$\pm m = \frac{N}{b\ h_t\ \sigma'_{br}} \quad (+N = \text{Tracção})$$

obtém-se a ordenada do eixo neutro medida a partir da fibra superior da secção

$$\frac{x}{h_t} = \frac{1 - 2\beta \pm m\beta}{(\beta - 1)^2} \left[1 - \sqrt{1 + \frac{(\beta - 1)^2 (\pm 2\beta m + 2\beta - 1)}{(\pm \beta m + 2\beta - 1)^2}} \right]$$

O momento de fissuração será então, por uma generalização da expressão (4)

$$M_r = \sigma'_{br}\, b\ h_t^2 \left[\frac{1}{2} - \frac{\delta x}{3} - \frac{(\delta x + \delta y)^2}{6} \right] \pm N \left(0{,}5 - \frac{\delta x}{3} \right) \tag{7}$$

2.4 *A influência da contracção sobre a formação de fissuras em peças de betão simples e de betão armado*

O fenómeno da contracção do betão devido à presa, que não é possível evitar para os betões de fabrico corrente, introduz nas peças de betão armado um estado de tensão inicial que poderá contribuir de modo importante para o aparecimento de fissuras.

A fig. 6 compara a contracção ε_s de uma peça de betão simples com a contracção ε_a de uma peça armada. Como no betão armado o aço se mantém aderente ao betão, a armadura ficará comprimida ($\varepsilon_a = \sigma_a/E_a$) e o betão ficará traccionado de modo a manter-se o equilíbrio

$$\sigma_b\ A_b = \sigma_a\ A_a \tag{8}$$

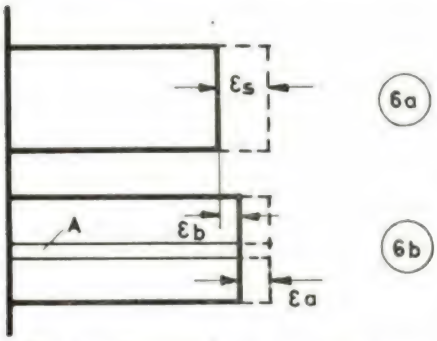


Fig. 6 — Contracção de uma viga sem armadura ou simètricamente armada

A extensão do betão será

$$\varepsilon_b = \sigma_b/E_b$$

verificando-se ainda

$$\varepsilon_b + \varepsilon_a = \varepsilon_s \tag{9}$$

Resulta que o betão não armado apresenta maiores contracções que o betão armado, correspondendo neste caso a diferença ao valor ε_a. Como este fenómeno ocorre simultâneamente com outras solicitações, estudam-se em seguida os casos mais característicos.

a) — *Secção simètricamente armada sujeita à tracção*

Neste caso, na condição de equilíbrio (8) haverá que considerar a força exterior de tracção Z

$$Z + \sigma_a\ A_a = \sigma_a\ A_b \tag{10}$$

Atendendo à equação (9) e convencionando

$$n = E_a/E_b\ ;\ A_a = \gamma\, A_b$$

vem

$$\sigma_a = \frac{E_a \varepsilon_s - n\, Z/A_b}{1 + n\gamma}$$

$$\sigma_b = \frac{\gamma E_a \varepsilon_s + Z/A_b}{1 + n\gamma} \qquad (11)$$

Estas expressões, porém, só são válidas até ao ponto *b* do diagrama de tensões-extensões (fig. 1), quer dizer, enquanto houver proporcionalidade entre estas duas grandezas.

σ_b não pode ser superior a σ'_{br} e assim para a igualdade $\sigma_b = \sigma'_{br}$ a expressão (11) dá a força de tracção Z_1 que corresponde à maior tensão de tracção no betão

$$Z_1 = \sigma'_{br}\ A_b (1 + n\gamma) - A_a E_a E_s$$

Aumentando a força para além de Z_1, não aparecerá imediatamente uma fissura, visto que o betão ao longo do troço *bc* da fig. 1 ainda permite o aumento da extensão. A parcela da força de tracção que ultrapassa Z_1 terá que ser absorvida exclusivamente pela armadura.

A possibilidade de extensão ao longo de *bc* é expressa por

$$\frac{\sigma'_{br}}{E_b}(\beta - 1) = \frac{\sigma_a}{E_a} = \frac{Z_r - Z_1}{A_b E_a}$$

que corresponde à diferença entre σ'_{br}/E_b e $\beta\, \sigma'_{br}/E_b$ respectivamente para *b* e *c*.

Portanto, a força de tracção Z_r que provoca fissuras será

$$Z_r = A_b [\sigma'_{br} (1 + n\beta\gamma) - \gamma \varepsilon_s E_a] \qquad (12)$$

Nota: — Na maioria dos manuais de betão armado é aconselhado para o cálculo de peças sujeitas à tracção o emprego duma expressão análoga à usada no dimensionamento de pilares à compressão simples

$$Z_r = A_b \sigma'_{br} (1 + n\gamma) \qquad (12')$$

sendo portanto a força de tracção que provoca fissuras Z_r, proporcional a σ'_{br}.

Esta expressão, que não considera a influência da contracção do betão, pode conduzir a conclusões menos exactas. Com efeito, através dela parece haver conveniência em aumentar a percentagem de armadura da secção — γ — quando, se se atender ao fenómeno da contracção, o problema pode pôr-se de forma completamente distinta.

A tabela que segue, compara, segundo os dois critérios, as tensões fictícias de tracção no betão obtidas pelo cociente da força Z_r que provoca a fissuração pela secção A_b de betão, para duas percentagens de armadura e para

$$\varepsilon_s = 0{,}3\ ‰ \text{ e } \sigma'_{br} = 22{,}5\ \text{kg/cm}^2$$

Valores de $\sigma_r = \dfrac{Z_r}{A_b}$ Kg/cm²

	β	1	3	5
A partir de Z_r dado pela expressão (12)	$\gamma = 0{,}3\ \%$	21	23	24
	$\gamma = 3\ \%$	10	24	37
A partir de Z_r dado pela expressão simplificada (12')	$\gamma = 0{,}3\ \%$	23	23	23
	$\gamma = 3\ \%$	29	29	29

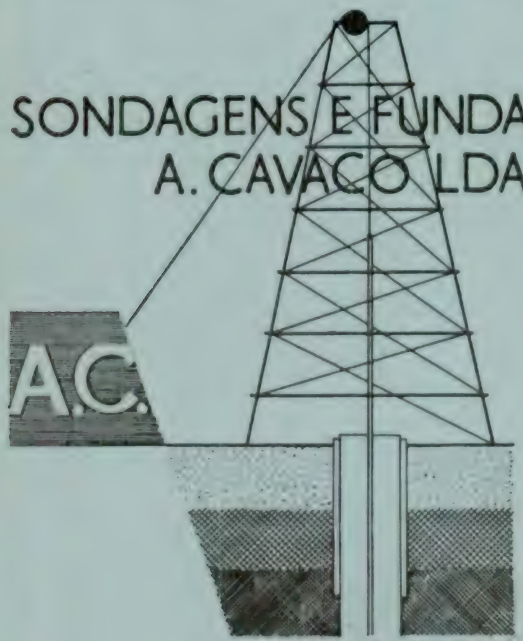
SONDAGENS RÓDIO, L.DA
LISBOA
RUA DE S BENTO, 644-3.º
Telefones: 867165/6/7 ✦ Telegramas: SETANSOL

RODIO

SONDAGENS GEOLÓGICAS
ESTUDOS GEOTÉCNICOS
ESTACAS GUNITA
CAPTAÇÃO DE ÁGUAS
CONGELAÇÃO DO TERRENO
IMPERMEABILIZAÇÃO DE OBRAS HIDRÁULICAS
CONSOLIDAÇÃO DE FUNDAÇÕES
ABAIXAMENTO DO LENÇOL DE ÁGUA

—//—

Engenheiro Chefe: **Walter Weyermann**



SONDAGENS
FUNDAÇÕES
CAPTAÇÕES DE ÁGUA
REBAIXAMENTOS
DE NÍVEIS AQUÍFEROS

RUA RODRIGO DA FONSECA 62 R/C • LISBOA
TELEF. 53873-45451-57751-59562

Silicones

WACKER

para a indústria eléctrica

Resinas de Silicone

Para vernizes de impregnação, motores eléctricos e transformadores resistentes a altas temperaturas, assim como para impregnar seda de vidro, mica, etc.

Cauchu de Silicone, vulcanizável a frio

Como material elástico para formas assim como massa de enchimento para peças eléctricas de alta qualidade, destinando-se a proteger as mesmas da humidade, choque e vibração.

Cauchu de Silicone, vulcanizável a quente

Para peças moldadas e extrudadas, com altas qualidades mecânicas, físicas e eléctricas.

WACKER-CHEMIE GMBH
MUENCHEN — ALEMANHA

Queiram solicitar informações pormenorizadas assim como prospectos à nossa representante

QUÍMICA HOECHST, LIMITADA
R. de Sá da Bandeira, 651-1.º — PORTO
Av. Duque d'Avila, 169-1.º — LISBOA

MERCURY

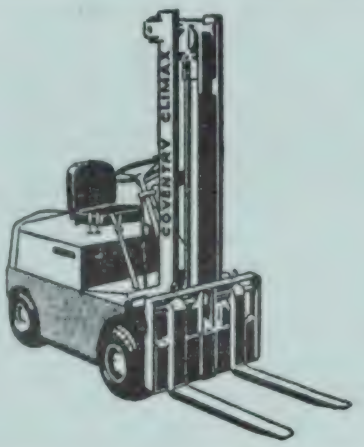
TRACTORES INDUSTRIAIS

Capacidades de reboque
até 300 Ton

COLES

GUINDASTES MÓVEIS

Capacidades até 60 Ton



Coventry Climax

EMPILHADORES

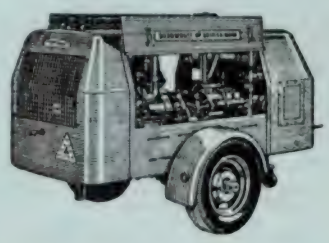
ELÉCTRICOS DIESEL GASOLINA

Capacidades até 3 Ton

"BROOMWADE"

COMPRESSORES

PORTÁTEIS E FIXOS
ROTATIVOS E ALTERNATIVOS
E FERRAMENTAS PNEUMÁTICAS



GUEDES & ALMEIDA, LDA. • R. S. Nicolau, 71-4.º — Tel. 32 50 80 • LISBOA 2

Deste quadro, conclui-se que os valores da tensão de fissuração do betão correspondentes à aplicação da expressão simplificada (12') podem conduzir a apreciáveis disparidades em relação aos obtidos pela expressão (12)

Dos valores obtidos por esta última expressão, conclui-se ainda que a tensão de fissuração $\sigma_r = \frac{Z_r}{A_b}$ depende dos valores de β e podem obter-se por vezes tensões de fissuração mais elevadas com menores percentagens de armadura, ou seja que as máximas forças de tracção admissíveis na secção antes do início da fissuração Z_r, podem ser mais elevadas para menores percentagens de armadura.

b) — *Secção assimètricamente armada sujeita à flexão*

O raciocínio a aplicar é semelhante ao do caso anterior.

A expressão (9) é válida para as fibras ao nível da armadura

$$\varepsilon_a = \varepsilon_s - \varepsilon_b \tag{13}$$

A posição do eixo neutro será novamente determinada a partir do equilíbrio de forças na secção, e a expressão (2a) passa a exprimir-se por

$$\frac{\sigma_b\ \delta x\ b\ h_t}{2} - \sigma'_{br}\ b\ h_t\ (1 - \delta_x - \delta_y/2) + \sigma_a\ b\ h_t\ \gamma = 0$$

em que $\sigma_a\ \gamma\ b\ h_t$ representa a força de tracção na armadura.

Como se vê na fig. 7, na fibra anterior da secção a extensão do betão antes da rotura tem o valor

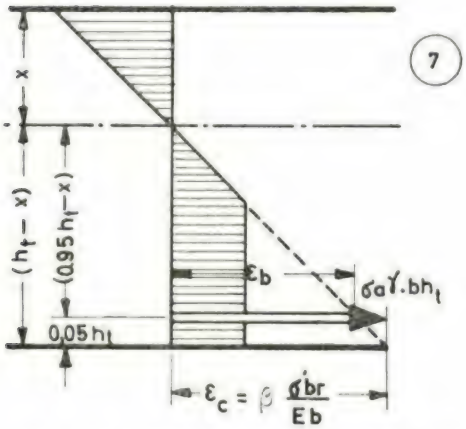


Fig. 7 — A contracção em vigas de armadura assimétrica

$$\varepsilon_c = \beta\ \sigma'_{br}/E_b$$

Daqui resulta uma extensão ao nível da armadura de

$$\varepsilon_b = \beta\ \frac{\sigma'_{br}}{E_b} - \frac{0{,}95 - \delta_x}{1 - \delta_x}$$

e da expressão (13) vem

$$\sigma_a = E_a\ .\ \varepsilon_s - n\ \beta\ .\ \sigma'_{br}\ \frac{0{,}95 - \delta x}{1 - \delta x}$$

A expressão de equilíbrio de forças passa a ser

$$\beta\ \sigma'_{br}\ \frac{\delta x^2}{2\ (1 - \delta x} - \sigma_{br}\ (1 - \delta x)\left(1 - \frac{1}{2\beta}\right) + \left(E_a\ \varepsilon_s - n\beta\sigma'_{br}\ \frac{0{,}95 - \delta x}{1 - \delta x}\right)\gamma = 0$$

Portanto

$$\delta x = \frac{2\beta - 1 - \gamma\,(E_a\ \varepsilon_s\ \beta / \sigma'_{br} - n\beta^2)}{(\beta - 1)^2}\left[-1 + \sqrt{1 + \frac{(\beta - 1)^2\,(2\beta - 1 - \gamma\,[2\,E_a\,\varepsilon_s\,\beta / \sigma'_{br} - 1{,}9\,n\,\beta^2])}{[2\beta - 1 - \gamma\,(E_a\,\varepsilon_s\,\beta / \sigma'_{br} - n\beta^2)]^2}}\right] \tag{14}$$

O momento de fissuração será

$$M_r = \sigma'_{br}\ b\,h_t^2\left[\delta y\,\frac{\delta x + \delta y}{3} + (1 - \delta x - \delta y)\ \left(1 - \frac{\delta x}{3} - \frac{1 - \delta x - \delta y}{2}\right) - \left(0{,}95 - \frac{\delta x}{3}\right)\sigma_a\ \gamma\right]$$

Verifica-se pelo sinal que corresponde à parcela da armadura, que o momento de fissuração diminui quando aumenta a percentagem de armadura da secção.

Esta diminuição é mais acentuada para uma viga fortemente armada (γ elevado) e para um betão cujo β seja baixo.

3. DEFORMAÇÕES EM PEÇAS DE BETÃO ARMADO SUJEITAS À FLEXÃO

3.1 *Introdução*

O diagrama de tensões-extensões do betão à tracção (fig. 1) permite distinguir três fases na deformação duma peça de betão armado trabalhando à flexão.

1. Para a zona do diagrama compreendida entre os pontos *a* e *b* há proporcionalidade entre tensões e extensões, (aplicação da lei de Hook), sendo as deformações calculadas a partir dum módulo de elasticidade E constante e dum momento de inércia I correspondente ao da secção homogénea.

2. Aumentando as solicitações, desde que as extensões na secção se situem entre os valores correspondentes à zona *b c* do diagrama da fig. 1 a secção passa a ter uma nova distribuição de tensões até se atingir o estado a que corresponde a fig. 1 c, visto que a tensão na fibra mais afastada não pode ultrapassar o valor σ'_{br}.

Este estado intermediário, sem grande interesse na deformação da estrutura, corresponde mesmo num betão com β elevado a uma redução pequena do produto E I. Na realidade, a noção destas grandezas E e I perde o significado que lhes é atribuído no campo de validade da lei de Hook. No entanto, duma forma simplificada, adopta-se a mesma simbologia para traduzir o módulo de deformação da secção.

Por exemplo, para $\beta = 5$ o produto E I imediatamente antes do aparecimento da primeira fissura tem um valor de 10% inferior ao da fase anterior.

3. Aumentando ainda mais as solicitações, o valor da extensão na fibra inferior da secção ultrapassa a extensão limite do betão, ponto *c* do diagrama da fig. 1a, e ocorre uma fissura. Então essa secção e progressivamente as secções vizinhas passam a trabalhar na fase II, na qual se observa a parte mais importante das deformações.

Deduzir-se-ão em seguida as expressões que permitem calcular essas deformações para as diferentes fases de comportamento da peça, a partir de relações geométricas simples e com base nas características atrás definidas.

3.2 *Deformações devidas a solicitações aplicadas durante um espaço de tempo curto.*

Estuda-se o caso de uma viga recta simplesmente apoiada sujeita a um diagrama de momentos flectores. A partir deste é fácil, com base no mecanismo da fissuração atrás exposto, determinar as zonas fissuradas da viga.

Para uma viga de secção constante o momento de fissuração é um valor constante que se pode marcar com uma recta paralela ao eixo da viga que intercepta o diagrama de momentos flectores em dois pontos que limitam a zona fissurada.

Normalmente, existe junto de cada apoio um determinado comprimento de viga que não fissura, em que portanto a rigidez é grande, e em que os momentos flectores são reduzidos, pelo que em primeira aproximação se pode desprezar a curvatura da deformada desta zona e supor que esta é recta. Verificar-se-á posteriormente qual a influência da curvatura desta zona nos resultados finais.

A zona central da viga está fissurada sendo as tracções inteiramente absorvidas pelo aço. Encontrando-se a armadura disposta de acordo com o diagrama de momentos, a tensão no aço é pràticamente constante. Como a curvatura da viga é causada pelo alongamento da armadura, ela pode considerar-se constante ao longo desta zona. Assim, a deformada é um arco de círculo.

Admitindo que durante as deformações as secções se mantêm planas, haverá proporcionalidade entre o alongamento do aço provocado pela tensão σ_a e o afastamento da armadura ao eixo

neutro $(h-x)$ (fig. 8). Esta proporcionalidade pode ser expressa em função do raio de curvatura R e do ângulo $d\varphi$ de duas secções vizinhas.

$$\frac{R}{R\,d\varphi} = \frac{h-x}{R\,d\varphi\,\sigma_a/E_a} \quad \therefore \quad R = (h-x)\,\frac{E_a}{\sigma_a} \qquad (14)$$

Sendo $L/2-g$ a extensão em fase II, (fig. 8), ter-se-á para valor de rotação no apoio.

$$\theta = \frac{\frac{L}{2} - g}{R} \qquad (15)$$

em que L é o vão, e g a distância do apoio à primeira fissura. Por uma relação geométrica simples a flecha a meio vão será

$$f = \frac{L^2}{8\,R}\,(1-\mu^2) \qquad (16)$$

em que

$$\mu = \frac{g}{L/2}$$

No caso de a tensão no aço não ser constante as expressões (15) e (16) deverão ser corrigidas.

O factor de correcção é dado pelo quociente entre a área F_M do diagrama de momentos solicitantes na zona em que a peça trabalha em fase II, e a área F_E do diagrama de momentos efectivamente absorvidos pela armadura na mesma zona (fig. 9).

Ter-se-á

$$f = \frac{L^2}{8\,R}\,(1-\mu^2)\,\frac{[F_M]}{[F_E]} \qquad (17)$$

Fig. 8 — Relação entre o alongamento da armadura e o raio de curvatura

A aplicação desta expressão, implica a consideração dos seguintes condicionamentos:

— As condições de aderência da armadura devem ser tais, que, para as tensões admissíveis não se verifique qualquer deslizamento na zona dos apoios.

— A armadura na zona a trabalhar em fase II está sujeita à sua tensão de cálculo, enquanto que a sua tensão na zona vizinha em fase I é muito menor.

Admitindo um aumento de tensões no aço, linear ao longo de um comprimento igual ao de aderência, então, nessa extensão, a armadura desliga-se do betão de modo que em regra se pode admitir que num comprimento igual a metade do comprimento da aderência se atingiu a tensão máxima de cálculo, devendo a distância g ser reduzida de metade do comprimento de aderência.

Para valores de μ próximos da unidade a influência deste comprimento adicional é importante, podendo a flecha real ser superior à calculada.

— É evidente que as expressões (16) e (17) têm uma aplicação limitada no que respeita ao valor de μ. Para $\mu = 1$ ou não se teriam fissuras ou apenas haveria uma única fissura, e segundo a permissa atrás formulada de desprezar a curvatura da deformada na zona não fissurada, não haveria deformação. Isto não corresponde à realidade visto que uma viga não fissurada também tem deformações.

Por esse motivo, ter-se-á que estudar quais as restrições a impor à expressão aproximada (16).

Em fase I a flecha f_I de uma viga com carga uniformemente distribuida, q, será

$$f_I = \frac{5}{384}\,\frac{q\,L^4}{E_b\,I} \qquad (17\,a)$$

Fazendo na expressão (14) $h = 0{,}95\ h_t$, virá, para uma tensão no betão de 100 Kg/cm² e tensões no aço de 1400 ou 4000 Kg/cm², $h - x = 0{,}55\ h_t$ ou $h - x = 0{,}76\ h_t$.

Substituindo na expressão (16), as flechas da viga em fase I + II serão, nas mesmas condições

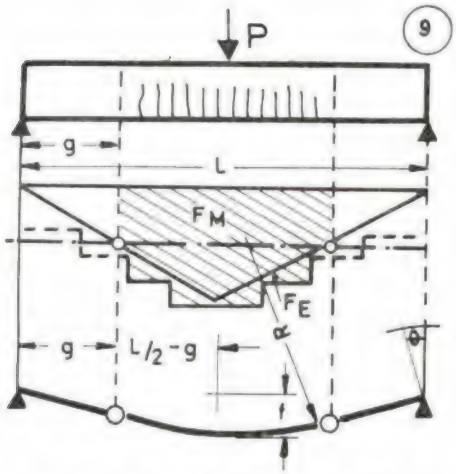


Fig. 9 — Deformada de uma viga de betão armado fissurada

$$f = \frac{L^2 (1 - \mu^2)}{0{,}55\ h_t} \quad \frac{1400}{8 \times 2{,}1 \times 10^6}$$

$$f = \frac{L^2 (1 - \mu^2)}{0{,}76\ h_t} \quad \frac{4000}{8 \times 2{,}1 \times 10^6}$$

Calculando agora a flecha como se a viga se mantivesse toda não fissurada, (aplicando a expressão (17 a) com o momento de inércia $I = b\ h_t^3/12$) e igualando os respectivos valores aos anteriores, obtém-se, para $n = 10$ e $L/h_t = \delta$

$$\sigma_a = 1400\ \text{kg/cm}^2; \quad \mu = \sqrt{1 - 0{,}7\ \delta^2\ nq/1{,}4b}$$

$$\sigma_a = 4000\ \text{kg/cm}^2; \quad \mu = \sqrt{1 - 1{,}0\ \delta^2\ nq/4b}$$

São estes os afastamentos da primeira fenda ao apoio para os quais a expressão aproximada (16) coincide com a deformação obtida na fase I.

Note-se porém que no caso de uma viga corrente, $L/h_t = 5$ a 10, a expressão aproximada (16) já dá valores mais correctos, mesmo que apenas 5 % da viga estejam em fase II, pelo que esta restrição é pouco sensível.

Nota: — Para o cálculo das flechas, podia apresentar-se uma expressão mais rigorosa a qual, porém, não tem interesse prático. Por exemplo, para uma viga com lei de carga simétrica, sendo as ordenadas referidas ao ponto mais baixo da deformada e as abcissas medidas a partir do eixo da viga, a equação da curvatura seria

$$y = R - \sqrt{R^2 - x^2} = R\left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{x}{R}\right)^2}\right] \simeq R\left[1 - \sqrt{1 - \frac{2x}{R}}\right]$$

A equação da deformada seria então

$$y = R\left[1 - \sqrt{1 - \frac{2x}{R}}\right]\Bigg|_{x=0}^{x=L/2(1-\mu)} + \int\int_{x=L/2(1-\mu)}^{x=L/2} M\frac{dx^2}{EI} + C_1 x\Bigg|_{x=L/2(1-\mu)}^{x=L/2} + C_2 \quad (18)$$

A constante C_1 seria obtida pela igualdade das tangentes à curva para $x = L/2\ (1 - \mu)$

$$\frac{d\ (R\ [1 - \sqrt{1 - 2\,x/R}])}{d\,x} = \frac{1}{E_1}\int M\,d\,x + C_1$$

A constante C_2 seria obtido pela condição de flecha nula para $x = L/2$.

3.3 *Deformações devidas à contracção*

No caso de uma viga simplesmente apoiada de betão não armado, a contracção da presa provoca encurtamento não acompanhado de tensões. No caso de uma viga com armadura, já se viu o estado de tensões gerado pela contracção. Para a zona da viga em fase II a contracção exerce-se só sobre a zona de compressões do betão e vai aumentar a deformação da zona fissurada.

O valor da contracção pode considerar-se constante ao longo da zona fissurada, resultando dela uma deformação em arco de círculo. A expressão aproximada (16) continua assim a ser válida se se introduzir um factor correctivo no raio da curvatura R para atender a estes efeitos.

A fig. 10a mostra que numa dada secção o betão tem a mesma extensão devida à contracção desde a fibra mais comprimida até ao limite da zona comprimida. Este diagrama de extensões não é compatível com a hipótese de que as secções transversais se mantêm planas. Assim a zona de compressões ficará sujeita a um estado de tensões diferencial tal que as respectivas extensões combinadas com as extensões da fig. 10 definam uma deformação plana para a secção. A fig. 10b mostra as extensões que deverão ser combinadas com as devidas à contracção (fig. 10a).

Este estado de tensão diferencial criado pela contracção origina um momento flector Md, localizado na zona de compressões, tal como se vê na fig. 10c, que entrará na condição de equilíbrio geral da secção.

O cálculo apresenta 4 incógnitas:

- y — distância do eixo neutro à aresta superior da secção
- σ_1 — tensão diferencial
- σ_2 — tensão proveniente do momento flector principal M devido à contracção que se representa na fig. 10d.
- σ_a — tensão na armadura.

Atendendo a

$$\varepsilon_s \,;\; \varepsilon_b = \sigma_b / E_b \;\; \sigma_e \;\; \varepsilon_a = \sigma_a / E_a$$

da fig. 10e obtém-se a seguinte relação geométrica

$$\frac{\sigma_a / E_a}{y - h} = \frac{\varepsilon_s + \sigma_1 / E_b - \sigma_2 / E_b}{y} = \frac{\varepsilon_b - \sigma_1 / E_b - \sigma_2 / E_b}{y - x}$$

donde

$$2\, y\, \sigma_1 - x\, E_b\, \varepsilon_s - x\, \sigma_1 + x\, \sigma_2 = 0$$

e ainda

$$y \frac{\sigma_a}{n} = (y - h)\,(E_b\, \varepsilon_s + \sigma_1 - \sigma_2) \qquad (18a)$$

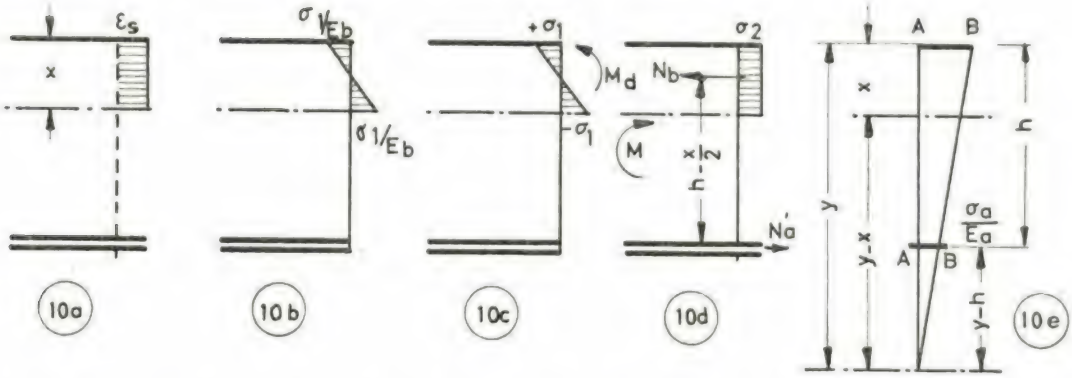


Fig. 10 — Relacção entre tensões e extensões devida à contracção duma peça de betão armado.

Fig. 10a — Contracção na zona de compressão.

Fig. 10b — Estado de tensão diferencial na zona de compressão.

Fig. 10c — Momento flector na zona de compressão.

Fig. 10d — Momento flector na secção completa.

Fig. 10e — Condição de secção plana.

Impondo a condição de equilíbrio de forças $Nb = N'a$ e fazendo $\gamma\, bh = A_a$, vem

$$\sigma_a = \sigma_2 \frac{x}{\gamma h}$$

A condição de equilíbrio de momentos dá

$$\sigma_1 \, b \, x^2 / 6 = \sigma_2 \, b \, x \, (h - x/2)$$

donde

$$\sigma_1 = \sigma_2 \, \frac{6 \, (h - x/2)}{x}$$

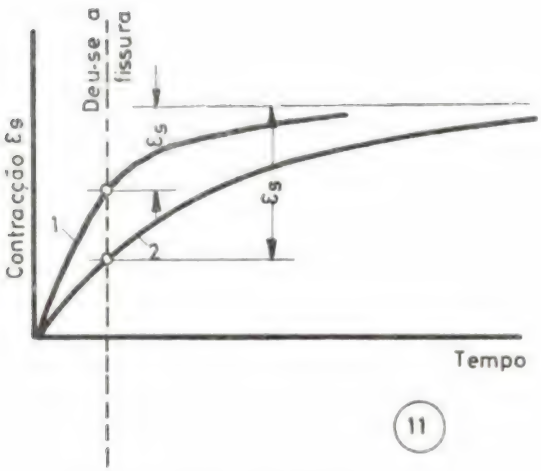


Fig. 11 — Contracção função do tempo

As quatro equações darão os valores σ_b e σ_a em função de y.

Utilizando-se no dimensionamento do betão armado as relações

$$x = k_x \, h \quad ; \quad y = k_y \, h$$

pode escrever-se

$$\sigma_b = \sigma_1 - \sigma_2 = E_b \, . \, \varepsilon_s \, \frac{3 \, k_x - 2 \, k_x^2}{6 \, k_y - 3 \, k_x - 3 \, k_x \, k_y + 2 \, k_x^2}$$

$$\sigma_a = E_b \, . \, \varepsilon_s \, \frac{k_x^3}{\gamma \, [12 \, k_y - 6 \, k_x \, k_y - 6 \, k_x + 4 \, k_x^2]}$$

e substituindo $y = k_y \, h$ em (18 a) será

$$k_y = 1 + \frac{k_x^3}{12 \, n \, \gamma \, (1 - k_x/2)} \qquad (19)$$

Desta expressão pode concluir-se que o eixo neutro da secção, devido à flexão por contracção, fica fora da secção em virtude de k_y ser maior que 1.

Assim, o aço fica sujeito a pequenas tensões de compressão, como aliás já era de esperar, que diminuem ligeiramente as tensões de tracção instaladas. O betão por sua vez receberá tensões de compressão.

Para formar uma ideia sobre o valor destas tensões, analisa-se em seguida o valor de ε_s. O encurtamento devido à presa do betão é função de tempo. A fig. 11 mostra o seu andamento. A curva 2 traduz o fenómeno para um clima frio e húmido, assim como para peças volumosas enquanto que a curva 1 o traduz para tempo seco e quente e peças de dimensões reduzidas. O valor de ε_s que interessa é apenas o que se produz a partir do momento em que a viga sob a acção de solicitações fissura.

A tabela que segue dá para diferentes valores de ε_s as tensões instaladas no aço e no betão devidas à contracção.

O cálculo foi feito para uma secção rectangular com duas percentagens diferentes de armadura correspondentes a uma peça trabalhando com uma tensão no betão de 100 Kg cm² e tensões no aço de 1400 ou 4000 Kg/cm² de que resultam respectivamente $k_x = 0{,}42$ ou $k_x = 0{,}20$ e $\gamma = 0{,}013$ ou $\gamma = 0{,}005$.

A equação (19c) dá $k_y = 1{,}053$ ou $k_y = 1{,}030$.

Tensões no betão e na armadura devidos à contracção (Kg/cm²)

	1.400 Kg/cm²			4.000 Kg/cm²		
ε_s	0,2 ‰	0,4 ‰	0,6 ‰	0,2 ‰	0,4 ‰	0,6 ‰
σ_b	9,4	18,8	28,2	4,3	8,6	12,9
σ_a	26	53	79	13	27	40

— O raio da curvatura da deformada é obtido por uma proporção entre o valor da contracção ε_s e o afastamento do eixo neutro à fibra da secção em que se realiza ε_s.

A localização exacta de ε_s na zona de compressão que se representa na fig. 12a é dada a partir das tensões σ_1 e σ_2 (fig. 10) e corresponde à fibra onde a extensão do betão devido a σ_1 e σ_2 é igual a zero.

O momento diferencial Md introduz tensões, que são de compressão na fibra superior da zona comprimida e de tracção na sua fibra inferior. A altura da zona comprimida x vem assim ligeiramente reduzida, e o afastamento pretendido é pouco maior que $h - x/2$, mas na prática a aproximação dada por este último valor considera-se suficiente.

Ter-se-á portanto

$$\frac{R}{R\,d\varphi} = h\,(1 - x/2)\,\frac{L}{R\,d\varphi\,.\,\varepsilon_s} \;\therefore\; R_s = h\,\frac{1 - k_x/2}{\varepsilon_s} \tag{20}$$

3.4 *Deformações devidas à fluência*

Sabe-se que o módulo da elasticidade do betão diminui sob a acção da fluência, enquanto que o módulo de elasticidade do aço se mantém constante. Assim, o coeficiente de homogenização n é variável com o tempo, passando para $n\varphi$ em que $\varphi > 1$. Para todas as zonas da viga que estão em fase I as deformações aumentam φ vezes. Nas zonas que estão em fase II o problema é distinto pois a variação de E_b dá-se apenas na zona de compressão, acompanhada por redistribuições de tensões.

Também aqui a deformação da zona da viga na fase II é de interesse superior à deformação na zona em fase I. Para que se possa considerar válida a expressão (16) há que fazer uma restrição que adiante se refere, e introduzir um factor correctivo no raio de curvatura.

Para cargas aplicadas num espaço de tempo curto, a posição do eixo neutro é dada por

$$k_x' = \frac{n\sigma'_b}{n\sigma'_b + \sigma'_a}$$

Para cargas prolongadas, após a fluência, ter-se-á

$$k_x = \frac{n\varphi\sigma_b}{n\varphi\sigma_b + \sigma_a}$$

O equilíbrio de forças na fase II traduz-se por

$$\sigma_a\,\gamma\,bh = \sigma_b\,bh\,\frac{1}{2}\,\frac{n\varphi\sigma_b}{n\sigma\sigma_b + \sigma_a}$$

e atendendo a que

$$\sigma_b = \gamma\,N_b\,\sigma_a$$

que

$$N_b = 1 + \sqrt{1 + \frac{2}{n\gamma\varphi}} \tag{21a}$$

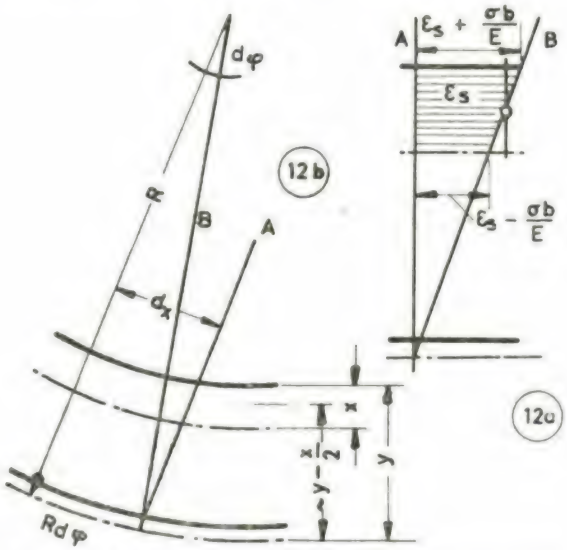


Fig. 12 Relacção entre contracção e raio de curvatura

e que o momento calculado a partir da força de tracção na armadura é

$$M = \sigma_a\,\gamma\,bh^2\left(1 - \frac{k_x}{3}\right) \tag{21b}$$

vem

$$\frac{M}{bh^2} = \sigma_a\,\gamma\left[1 - \frac{n\,\gamma\,N_b\,\varphi\sigma_a}{3\,(n\gamma\,N_b\,\sigma_a\,\varphi + \sigma_a)}\right] = \sigma_a\,\gamma\left[\frac{2\,n\gamma\,N_b\,\varphi + 3}{3\,n\gamma\,N_b\,\varphi + 3}\right]$$

A tensão na armadura será pois

$$\sigma_a = \frac{M}{bh^2} \quad \frac{1}{\gamma} \quad \frac{3 n \varphi \; N_b \; \gamma + 3}{2 n \varphi \; N_b \; \gamma + 3} \tag{22}$$

Procedendo de um modo semelhante a partir de

$$\sigma_a = \frac{\sigma_b}{\gamma \, N_b}$$

vem

$$\frac{M}{bh^2} = \frac{\sigma_b}{N_b} \quad \frac{2 n \varphi \; N_b \; \gamma + 3}{3 n \varphi \; N_b \; \gamma + 3}$$

A tensão no betão será pois

$$\sigma_b = \frac{M}{bh^2} \, N_b \, \frac{3 n \varphi \; N_b \; \gamma + 3}{2 n \varphi \; N_b \; \gamma + 3} \tag{23}$$

Fazendo nestas expressões $\varphi = 1$, obtém-se o momento flector a partir das tensões σ'_b e σ'_a existentes ao iniciar-se a fluência.

Notando que agora

$$N'_b = 1 + \sqrt{1 + \frac{2}{n \gamma}} \tag{24}$$

ter-se-á, a partir de (21b)

$$\frac{bh^2}{M} = \sigma'_a \; \gamma \; \frac{2 n \gamma \; N'_b + 3}{3 n \gamma \; N'_b + 3} = \frac{\sigma'_b}{N'_b} \; \frac{2 n \gamma \; N'_b + 3}{3 n \gamma \; N'_b + 3} \tag{25}$$

Substituindo na equação (23), M/bh^2 pelo seu valor dado pela equação (25) obtêm-se duas expressões que relacionam as tensões após a fluência com as existentes antes do seu início

$$\begin{aligned} \sigma_a &= \sigma'_a \, \frac{(2 n \gamma N'_b + 3)(n \varphi \gamma \; N_b + 1)}{(n \gamma N'_b + 1)(2 n \gamma \varphi \; N_b + 3)} \\ \sigma_b &= \sigma_b' \, \frac{N_b}{N'_b} \; \frac{(2 n \gamma N'_b + 3) \; (n \varphi \gamma N_b + 1)}{(n \gamma N'_b + 1) \; (2 n \gamma \varphi N_b + 3)} \end{aligned} \tag{26}$$

O acréscimo de tensões será dado pela diferença $\sigma - \sigma'$.

O raio de curvatura após fluência poderá ser calculado a partir da expressão (14).

Se em

$$1 - k_x = \frac{\sigma_a}{n \varphi \sigma_b + \sigma_a}$$

se substituirem os valores das tensões σ_b e σ_a dadas pelas equações (26), simplificando vem

$$1 - k_x = \frac{\sigma'_a \; N'_b}{n \varphi \sigma'_b N_b + \sigma'_a N'_b}$$

E substituindo

$$R\varphi = h(1 - k_x) \, \frac{E_a}{\sigma_a} \quad h \, \frac{E_a (n \gamma N'_b + 1)(2 n \gamma \varphi N b + 3) N'_b}{(2 n \gamma N'_b + 3) \; (n \gamma \varphi N + 1) \; (n y \sigma'_b N_b + \sigma'_a N'_b)} \tag{27}$$

Note-se que a fluência, em virtude de aumentar o afastamento x do eixo neutro à fibra mais comprimida, vai reduzir a deformação devida à contracção, por diminuição do factor $(1 - k_x / 2)$ como se verifica pela expressão (20). Como porém, a ocorrência dos dois fenómenos no tempo pode não ser simultânea, não se devem associar.

O fenómeno da fluência condiciona ainda o valor do coeficiente de curvatura β como se deduz de uma análise detalhada do diagrama de tensões-extensões, que se apresenta com maior pormenor na fig. 13.

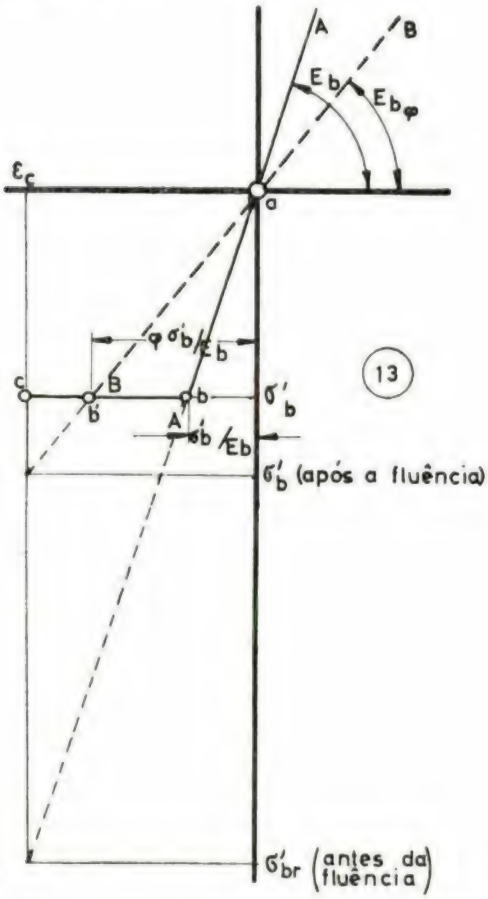


Fig. 13 — Diminuição de resistência de tracção por flexão devido à fluência

Admitindo que a extensão de rotura ε_c tem valor constante para um dado betão, e atendendoà expressão (1), verifica-se que a variação de módulo de elasticidade de E_b para E_b / φ corresponde uma variação de coeficiente de curvatura β para β/φ. Como $\varphi > 1$ o coeficiente após fluência seria menor que o inicial.

Resulta ainda do fenómeno de fluência, uma redução de resistência do betão à tracção em flexão σ'_{br} como se compreende esquemàticamente pela fig. 13 e se pode traduzir aproximadamente através da equação (5). Com efeito, substituíndo nestas equações o valor β por β/φ e explicitando-se em relação a σ'_{br}, sendo σ'_b independente da fluência fàcilmente se conclui que σ'_{br} diminui quando aumenta φ

Por exemplo, para

$$\beta = 1 \text{ a } 3 \quad \sigma'_{br} = \sigma'_b \left(0{,}63 + 0{,}37 \frac{\beta}{\varphi}\right)$$

$$\beta = 3 \text{ a } 5 \quad \sigma'_{br} = \sigma'_b \left(1{,}35 + 0{,}13 \frac{\beta}{\varphi}\right)$$

Este fenómeno conduz a momentos de deformação inferiores aos definidos pelas expressões anteriormente apresentadas nas quais a fluência não é considerada.

Na prática, este último efeito pode porém não se revestir dum aspecto de grande importância, e será tanto menos importante quanto mais tarde se fizer sentir o fenómeno da fluência, por a resistência do betão aumentar com o tempo.

No caso de vigas que apresentam uma zona fissurada extensa antes da aplicação de cargas prolongadas, como na expressão (16) o valor da flecha varia com $(1 - \mu^2)$ uma pequena variação de ν pouca repercussão tem na deformação. Inversamente, se a zona que se apresenta fissurada e muito restrita, o coeficiente $(1 - \mu^2)$ poderá variar aumentando bastante as deformações com a fluência.

Curso sobre Betão Armado e Pré-esforçado

Organizado pelos Instituto Eduardo Torroja e Instituto de Cultura Hispânica, vai realizar-se em Madrid de 1 de Outubro de 1963 a 15 de Junho de 1964 um «Curso de Estudios Mayores de la Construcción» dedicado especialmente ao betão armado e pré-esforçado.

Serão tratados os métodos de cálculo, (estudando-se as modernas teorias de rotura e o conceito semiprobabilístico da segurança), de projecto e de execução deste género de obras.

Este curso destina-se a engenheiros civis e a arquitectos dos países latinoamericanos, em número de 50 e compreende lições teóricas, práticas e visitas na Península Ibérica e Europa Central.

Todas as lições teóricas e práticas terão lugar no Instituto Eduardo Torroja e estão divididas pelos seguintes assuntos:

Estudo do material
Execução de obras
Cálculo de betão armado e pré-esforçado
Composição e projectos
Elementos especiais

As pessoas que desejam tomar parte no Curso devem enviar ao Director do Instituto de Cultura Hispânica de Madrid — Av. de Los Reyes Católicos, Ciudad Universitaria, Madrid — o seu «Curriculum vitæ».

Os alunos terão de apresentar-se na Secretaria do Curso, que funciona nos dois Institutos, na última semana de Setembro, fazendo então as inscrições no valor de 3000 pesetas.

6.ª Conferência Internacional de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações

Setembro de 1965 — Montreal — Canadá

Os autores que desejem apresentar comunicações a esta conferência deverão enviar em triplicado os títulos e sumários respectivos ao Agrupamento Português de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, com sede no Laboratório Nacional de Engenharia Civil, até ao próximo dia 1 de Outubro.

Sumários dos artigos publicados na Técnica n.º 329

Ano XXXVIII Junho 1963

A. Varela Cid — CDU 378.144 : 629.13

Cursos de Engenharia Aeronáutica.

Técnica 329 — XXXVIII — 6. 1963 pág. 617-626.

Neste artigo trata-se da criação dos cursos de Engenharia Aeronáutica, apresentando-se os seus possíveis programas.

C. A. C. Ramalho Carlos — CDU 541.13 001

Convenções de sinal em electroquímica.

Potenciais de eléctrodo

Técnica 329 — XXXVIII — 6. 1963 pág. 665-667

Realçam-se as precauções a tomar pelo facto de o sinal dos valores de potencial de eléctrodo ser duplamente convencional.

F. Almeida e Castro — CDU 621.001.6/7 : 519.28

Previsão estatística das avarias de máquinas.

Técnica 329 — XXXVIII — 6. 1963 pág. 627-636.

Neste artigo apresenta-se:

Uma exposição resumida das noções essenciais, a caracterização estatística das avarias de máquinas e suas aplicações. Função de sobrevivência (exponencial, normal, lognormal); exemplos de aplicação, aprovisionamento, manutenção, funções de reserva e socorro.

J. Artur da Costa Cabral — CDU 537.311.33 : 621.375.4

Estudo da junção P-N.

Regime electrostático

Técnica 329 — XXXVIII — 6. 1963 pág. 669-685 — Bibliografia.

Estudamos, neste artigo, a junção semicondutora abrupta, em regime electrostático.
Usamos as equações fundamentais, que, do ponto de vista macroscópio, permitem caracterizar eléctricamente os semicondutores. Assim é possível escrever a equação de Poisson, na forma geral, cuja integração numérica conduz ao estabelecimento de um método rigoroso para o estudo da junção.
Este método é aplicado para a determinação de várias grandezas físicas, que caracterizam algumas junções de germânio com diferentes concentrações de impurezas.
Chegamos à conclusão que a barreira de potencial está localizada numa região — zona de transição — de espessura extremamente pequena em relação às dimensões das junções vulgarmente usadas na prática.
O método estabelecido permite discutir a validade de certas aproximações correntemente aplicadas. Examinou-se especialmente o caso da hipótese de Schottky, tendo-se limitado empiricamente o seu campo de aplicação.

C. de Medeiros Portela — CDU 621.313 013.001

Aplicação do método das analogias eléctricas ao estudo de alguns problemas relativos ao campo magnético das máquinas eléctricas *(Cont.)*

Técnica 329 — XXXVIII — 6. 1963 pág. 637-664.

No cap. III faz-se o estudo de um elevado número de problemas relativos ao campo magnético das máquinas eléctricas, aplicando os métodos expostos a um caso concreto. Indica-se um processo de estudo de meios não lineares baseado na consideração do respectivo comportamento diferencial. Estudam-se os campos associados às correntes no indutor e nos condutores do induzido na zona entre polos e debaixo dos polos e os campos na proximidade imediata das correntes a eles associadas. Apresenta-se um método de obtenção de valores globais a partir do conhecimento do comportamento local das máquinas eléctricas.
Indicam-se diversos resultados respeitantes à tecnologia do método das analogias eléctricas, que houve que utilizar e nalguns casos desenvolver, e que constituiriam a parte experimental do trabalho

L. Arouca
A. Mexia Heitor — CDU 691.328 : 539.37

Reflexões sobre a fissuração e deformação no betão armado.

Técnica 329 — XXXVIII — 6. 1963 pág. 689-705.

O sumário deste artigo será publicado num próximo número no qual será apresentada a sua segunda parte.

Summaries of articles published in «Técnica» No. 329

XXXVIII — 6. 1963

C. A. C. Ramalho Carlos — UDC 541.13.001

Sign Conventions in Electro-chemistry.

Electrode potencial

Técnica No. 329 — XXXVIII — 6. 1963 pp 665 to 667.

ABSTRACT

The existence of two conventions which together determine the sign of the electrode potencial values is emphasized.

A. Varela Cid — UDC 378.144 : 629.13

Aeronautical Engineering Courses.

Técnica No. 329 — XXXVIII — 6. 1963 pp 617 to 626.

In this article are presented School programmes for establishment of aeronautical engineering courses.

J, Artur da Costa Cabral — UDC 537.311.33 : 621.375.4

Study about P-N junction.

Técnica No. 329 — XXXVIII — 6. 1963 pp 669 to 685 — Bibliography.

The sudden semicondutive junction in the absence of current is studied in this paper.
We used the fundamental equation wich, from the macroscopic point of wiew, characterise electrically the semiconductors. So the Poisson equation may be written, in a general form, whose numerical integration leads of the establishement of an accurate method for the study of the junction.
This method is applied to determine several physical magnitudes, which characterise some German um junctions, having different concentrations of impurities.
We arrive to the conclusion that the potencial barrier is located in a very thin «transition zone» in relation to the dimensions of experimental junctions.
The established method permite to the discuss the a curacy of certain approximations currently applied. The case of the hypothesis due to Schottky, was examined, having been established emperically its range of applicability.

F. Almeida e Castro — UDC 621 004.6/7 : 519.28

Statiscal Forecast of Equipment Failures.

Técnica No. 329 — XXXVIII — 6. 1963 pp 627 to 636.

Presents in this article: A brief survey of the basic theory envolved in some statiscal aspects of equipment failures. Reliability curves (exponential, normal, log-normal); and aplications (supplies, manutenance, stand-by).

L. Arouca — UDC 691.328 : 539.37
A. Mexia Heitor

Reflections on the fissuration an deformation in the reinforced concrete.

Técnica No. 329 — XXXVIII — 6. 1963 pp 689 to 705.

Summary of this article will be publisehd in a next number in wich will be presented its second part.

C. de Medeiros Portela — UDC 621.313.013.001

Application of the electrical analogy method for the study of several problems concerning the magnetic field in electric machines *(Cont)*

Técnica No. 329 — XXXVIII — 6. 1963 pp. 637 to 664.

Chapter III — This chapter studies a great number of problems concerning the magnetic field in electric machines, using the methods proposed for a specific case. The author presents a process of study of the non linears mediums, based in the consideration of the respectif differential behaviour. He studies the fields association to the currents in the inductor, and in the armature in interpoles and under poles area, and the fields in the immediate proximity of current associated to them.
The author presente a method for obtaining global values starting from the acknowleghment of the local behaviour of electric machines.
Several results are presented concerning the tecnology of the electric analogy method, which he had to use and even to develop and which formed the experimental part of this work

BIBLIOTECA
FICHEIRO

Classificadores responsáveis:

J. M. Viegas Gonçalves, A. Romão Dias J. F. Gomes de Pina, F. G. Knopfli Batoreu, J. L. F. Sousa Oliveira

---

Recortar as indicações bibliográficas que formam uma ficha e estão encimadas por CDU (Classificação Decimal Universal).

Colar cada referência num pequeno rectângulo de cartolina de 75 × 125 mm.

Ordenar pelos índices decimais, *começando da esquerda para a direita,* independentemente do número de algarismos que o índice contiver, e respeitando a seguinte regra de arrumação dos sinais auxiliares:

+ / n.os simples : [ ] = (01/09) (1/9) (=) " "A/Z — .0 .00

Consultar, em casos duvidosos, a exemplificação inserida na «Técnica» n.º 218 e seguintes, ou recorrer à Biblioteca da A. E. I. S. T.

Notar que a inserção das fichas nesta publicação respeita a ordem correcta, no intuito de a esclarecer o mais possível.

A comodidade de possuir no próprio local de trabalho um arquivo ordenado e de fácil consulta sobre assuntos que se sabe onde existem, é uma das evidentes vantagens de um ficheiro classificado segundo a CDU.

Os assuntos de que estas fichas são referência ficam patentes à consulta a partir desta data.

LIVROS

C. D. U. 621.039.4

Nuclear Reactor Instrumentation — *M. W. Jervis.*
Temple Press, 1961, vol. 1, pág. 74.

C. D. U. 621.311.161.016.352

Sur la stabilité dynamique des réseaux interconnectés — *Paul Willems.*
ACEC, 1956, vol. 1, pág. 28.

ARTIGOS DE REVISTAS

C. D. U. 532.574.6

Ecoulements fluides soumis à un champ magnétique. Applications à la mesure des vitesses — *P. B. Féraud.*
Bulletin du Centre de Recherches de Chatou, 7-962, n.º 1.

C. D. U. 535.13

Como circula la corriente eléctrica por un conductor? — *C. Lehmkuhl Udaondo.*
Dyna, 5-962, vol. 37, n.º 5, pág. 279-285.

C. D. U. 536.581.3

Un termostato de refrigeración basado en el efecto Peltier — *W. Lechner.*
Matronics, 1961, n.º 19, pág. 378-384.

C. D. U. 536.582.6

Termo-bimetal | *P. M. Kiefe* e *A. Weinert.*
Electricidade, 10/12-962, vol. 24, pág. 302-309.

C. D. U. 546.212.02

Produção de água pesada — *J. M. P. Cabral.*
Engenharia Nuclear, 3-962, vol. 4, n.º 14, pág. 3-10.

C. D. U. 546.212.02.002.2

Swedish heavy-water process — *Eriksson, B. J.*
Asea Research 7, pág. 289-304.

C. D. U. 546.264 : 545.84

Analyse des impuretés do gaz carbonique par chromatographie en phase gaseuse — *R. Aubeau* e *L. Charpeix*
Industries Atomiques, 11/12-960, vol. 4, n.º 11-12, pág. 78-86.

C. D. U. 621.039.5 : 621.38

Les installations de contrôle du modèle nucléaire du réacteur BRZ | *J. Lhoir, A. Pierard.*
ACEC Revue, 1960, n.º 4, pág. 2-31.

C. D. U. 621.039.5 : 661.666.091

Produção de grafite nuclear — *M. Frutuoso.*
Engenharia Nuclear, 9/12-961, vol. 3, n.º 12-13 pág. 47-51

PINÇAS FERRANTI

PINÇAS VOLT — AMPERIMÉTRICAS

7 ESCALAS

EM AMPÈRES	EM VOLTS
0 — 10 AMPS.	0 — 150 V
0 — 25 »	0 — 600 »
0 — 100 »	
0 — 250 »	
0 — 1000 »	

PINÇA WATTIMÉTRICA

7 ESCALAS

0 — 3 KW
0 — 6 »
0 — 12 »
0 — 30 »
0 — 60 »
0 — 120 »
0 — 300 »

REPRESENTANTES:

C. SANTOS, S. A. R. L.

29, AVENIDA DA LIBERDADE, 41 — LISBOA

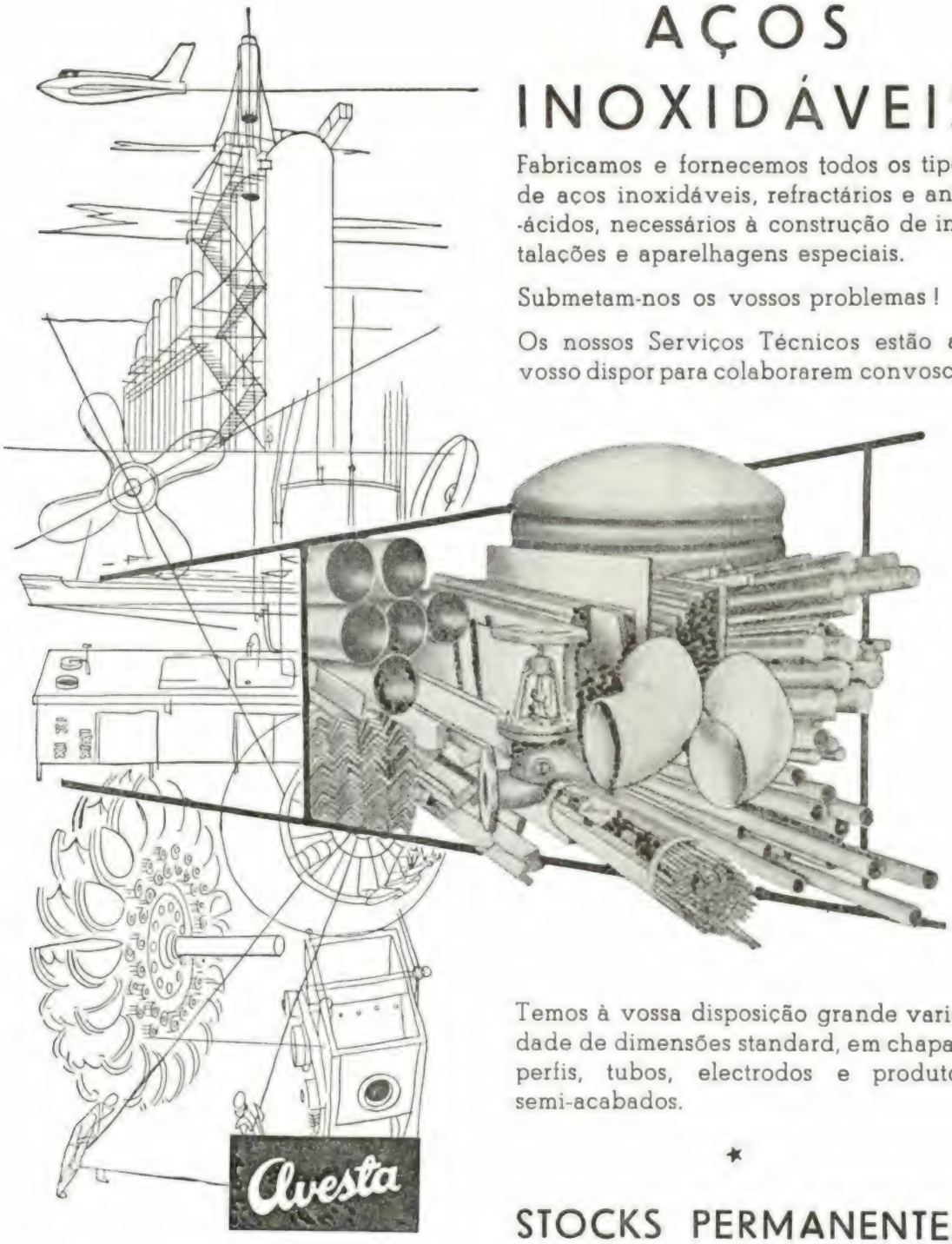
DIVISÃO MARÍTIMA E INDUSTRIAL
AVENIDA DA LIBERDADE, 29-41 — LISBOA
160, RUA STA. CATARINA, 168 — PORTO

AÇOS INOXIDÁVEIS

Fabricamos e fornecemos todos os tipos de aços inoxidáveis, refractários e anti-ácidos, necessários à construção de instalações e aparelhagens especiais.

Submetam-nos os vossos problemas!

Os nossos Serviços Técnicos estão ao vosso dispor para colaborarem convosco.



Temos à vossa disposição grande variedade de dimensões standard, em chapas, perfis, tubos, electrodos e produtos semi-acabados.

★

STOCKS PERMANENTES

AVESTA JERNVERKS AKTIEBOLAG
AVESTA — SUÉCIA

Representantes Exclusivos para Portugal e Ultramar:

A. JOHNSON & Co (PORTUGAL), L.DA

SEDE EM LISBOA:
Praça José Fontana, 11-1.º
Telef. 479 61 — 479 93 — 479 97

FILIAL NO PORTO:
R. Dr. António Granjo, 160/168
Telef. 5 4666

C. D. U 621.039.5 — 71.

Refrigerantes para reactores nucleares — *G. F. Correia*
Engenharia Nuclear, 9/12-961, vol. 3, n.º 12-13 pág. 41-46.

C. D. U. 621.039.5.004.11

Instrumentation for the Delft University reactor — *C. Van Viegen.*
Science and Industry, 1962, vol. 9, n.º 4, pág. 2-7.

C. D. U. 621.039.587

Nuclear Reactor Safety Systems — *M. W. Jervis.*
A. E. I. engineering, 9/10-962, vol. 2, n.º 5, pág. 222-228.

C. D. U. 621.224.004.15

Comparaison entre les rendements industriels et modèle pour le fonctionnement en turbinage inversé des groupes bulbes de Combeyrac et Saint-Malo — *J. Chevalier.*
La houille blanche, 1962, n.º 2, pág. 141-150.

C. D. U. 621.24

Inovações no domínio das turbo-máquinas funcionando por escoamento — *Emilio Hablutzel.*
Suíça — Técnica, 1961, vol. 3, pág. 13-27.

C. D. U. 621.311.1 : 621.398 : 681.142

Electronics in the electricity supply industry — *J. S. Forrest.*
Journal I.E.E., 5-961' vol. 7, n.º 77, pág. 289-294.

C. D. U. 621.311.176

Control Rooms in Load-dispatching Stations — *W. Henning.*
Siemens Review, 1962, vol. 29, n.º 12, pág. 456-461.

C. D. U. 621.311.176

L'appareillage de contrôle de la centrale de Stornorrfor. — *ALM, A., Borgvall, T. et Rudqvist, O.*
Asea-Revue 33 (1961) : 1, pág. 11-23.

C. D. U. 621.311.2 : 621.221.4

Hydro-Electric Machines for Pumped Storage — *J. H. Walker.*
AEI Engineering, 2-961, vol. 1, n.º 2, pág. 51-59.

C. D. U. 621.311.21

Detzem Power Station on the River Mosel — *Martin Winkler, Hans Meyer, Kurt Münker.*
Siemens Review, 1962, vol. 29, n.º 10, pág. 387-392.

C. D. U. 621.314.222.042

Diseño de um Transformador de Salida de Linea — *K. L. van Eysden, E. J. Maanders.*
Matronics, Philips, 1961, n.º 18, pág. 347-359.

C. D. U. 621.314.224.8.024

Nouvelles séries de transducteurs de mesure pour courant continu — *Hanke G.*
Rev. Brown Boveri, t. 47 (1960), n.º 10-11, pág. 769-775, 10 fig., 1 tabl., 4 réf. bibliogr.

C. D. U. 621.314.228.001.4

The transformers in the Asea high-power laboratory at Ludvika — *Torseke, L.*
Asea Journal 35 (1962) : 1-2, pág. 8-13.

C. D. U. 621.316.5.027.3

Fabricacion de Interruptores para Lineas de Alta Tension — *C. Villacieras Rodriguez.*
Anales de Mecanica y Electricidad, 11/12-959, vol. 35, n.º 4, pág. 387-389.

C. D. U. 621.316.54

Selectivity of Fuses and Switch-Lear in Power Supply Installations — *Bruno Meiler, Walter Rauch.*
Siemens Review, 1962, vol. 29, n.º 3, pág. 78-82.

C. D. U. 621.316.542.027.3.064.25

The reaction chamber — a new breaking feature for high-voltage circuit-breakers — *Ohman, G.*
Asea Journal 34 (1961) : 10, pág. 178-181.

C. D. U. 621.316.543.3 : 621.335.2.025

Graduateurs à haute tension pour locomotives à courant alternatif — *Billeter W.*
Rev. Brown Boveri, t. 47 (1960), n.º 9, pág. 549-555, 8 figuras.

C. D. U. 621.316.71-38

Valve actuators — *Lagerblad, G. and Jonsson, A.*
Asea Journal 34 (1961) : 10, pág. 173-177.

C. D. U. 621.317.49 : 531.78

Le torducteur annulaire — un mesureur de couple, sans bagues, pour les mesures et régulations industrielles — *Dahle, O.*
Asea-Revue 32 (1960) : 6, pág. 147-157.

C. D. U. 621.317.7 : 534.852.6

Le modulomètre type cassete — *Hans Stut.*
Revue Siemens 18 (1960), pág. 29-32, 5 figuras.

C. D. U. 621.317.74 : 621.391.82

Intermodulation Moise Measuring Setup for Multi-channel Telephone Systems — *Martin Miedereder.*
Siemens Review, 1962, vol. 29, n.º 6, pág. 199-203.

C. D. U. 621.317.75.018.756

Un nuevo oscilógrafo de impulsos con gran anchura de banda — *H. Foerster.*
La AEG al día, 1961, n.º 2, pág. 295-308.

Aglomerado Negro de Cortiça

... o isolante mundialmente preferido
na construção moderna.

ISOLAMENTOS
TÉRMICOS · ACÚSTICOS E VIBRÁTICOS

IŞOLA

SOC. COM. de ISOLAMENTOS de CORTIÇA, LDA.
Av. António Augusto de Aguiar, 17 - Lisboa
TEL: 47824-41697

SOCIEDADE DE CONSTRUÇÕES AMADEU GAUDÊNCIO

ARQUITECTURA E ENGENHARIA

TELEFONES:
P.P.C.A. 43191 - 43192 - 43193
END. TELEGRÁFICO:
«CONSTRUÇÃO»

- CONSTRUÇÕES CIVIS
- BETÃO ARMADO E PRE-ESFORÇADO
- CARPINTARIA MECÂNICA
- TRABALHOS DE PINTURA E ESTUQUES

DEPÓSITO DE MATERIAIS:
ESTRADA DE MOSCAVIDE, 17-19
Telefone 38 90 72
LISBOA

C. D. U. 621.365.5

Fours à creuset, à induction à fréquence industrielle, sans noyau ni canal — *F. von Burg.*
Revue Brown Boveri, 3-960, vol. 47, n.º 3, pág. 145-158

C. D. U. 621.365.5.029.45

High Frequency heating in Industry — *W. Hamernik*
Sience and Industry, 1-960, vol. 7, n.º 1, pág. 24-31

C. D. U. 621.365.5.0-9.45

Le chauffage par induction à haute fréquence en métallurgie.
Mecanique-Electricité, 2-963, vol. 47, n.º 163, pág. 80-84

C. D. U. 621.376.3

Amplificateurs magnétiques de faible encombrement utilisés comme éléments de circuit — *W. K. Dillon.*
Revue Landis e Gyr, 9-960, vol. 8, n.º 2, pág. 289 295

C. D. U. 621.375.3 : 621.313.236.3

El transistor em amplificadores previos para amplidinas y amplificadores magnéticos — *H. G. Lott.*
La AEG al día, 1961, n.º, pág. 176-180.

C. D. U. 621.376.3

Frequency-shift modulation of binary-coded signals for transmission over telephone circuits — *M. Jeppsson*
ITT, 1961, vol. 37, n.º, pág. 103-117.

C. D. U. 621.38.001.4
621.38.019.3

Thorough testing of components — a condition for the reliability in service of industrial electronic equipment — *Charles, G. and Dahle, O.*
Asea Journal 35 (1962) : 7, pág. 102-106.

C. D. U. 621.382 : 621.346.6

Utilisation du thyratron à semiconducteur comme organe de réglage — *Zwicky, R.*
Revue Brown Boveri, t. 48 (1991), n.º 3/4, pág. 167-270, 5 figuras.

C. D. U. 621.385 : 621.313.1

A new thermionic generator — *D. Gabor.*
Journal IEE, 5-961, vol. 7, n.º 77, pág. 287-288.

C. D. U. 621.392 (52) : 625.143.4 (52)

La système Tekken pour le soudage des rails — *M. Shin-Ichi Aoyama.*
Bulletin de l' A. I. des Chemines de fer, 10-961, vol. 38, n.º 10, pág. 823-833

C. D. U. 621.395.344.6 : 621.395.2

The new telephone installation of the Instituto of Tecnology in Hannover — *H. Wehmeier.*
SEL-Nachr. 9 (1961), n.º 1, pág. 62-68.

C. D. U. 621.396.67.001.2

On the network equations in antenna theory — *E. Nicolau.*
Buletinul I. P. B., 1958, vol. 20, n.º 58, pág. 153-159.

C. D. U. 621.791 : 669.15-194.2/.3

Problèmes relatifs au soudage d'aciers de différentes qualités pour machines thermiques — *Montandon R.*
Rev. Brown Boveri, t. 48 (1961), n º 8/9, pág. 490-497, 12 figuras, 3 tabelas.

C. D. U. 621.791 : 621.314.214

A Small Welding Transformer with D. C. Biasing Control — *Paul Zwanzger.*
Siemens Review XXVIII (1961), pág. 409-411, 6 figuras.

C. D. U. 621.791.001.4

Recherches sur la soudure des tôles d'acier galvanisées — *C. Odone, Milanese, Porta.*
Acier-Stahl-Steel, 1961, n.º 6, pág. 287-296.

C. D. U. 621.873.3-83 : 629.12

New electric deck crane — *Sallow, A. and Lindholm, C.-H.*
Asea Journal 34 (1961), 10, pág. 167-172.

C. D. U. 621.874

Le transport des lingots par les ponts roulants modernes desservant les pits d'une aciérie — *Karle Schmoll.*
Acier-Stahl-Steel, 12-960, n.º 12, pág. 520-522.

C. D. U. 624.057.003.1

Aspectos económicos da industrialização da construção — *Ducio Turin.*
Binário, 5-1962, n.º 44, pág. 341-361.

C. D. U. 624.057.5

Charpentes en béton armé à armature coffrante en tubes d'acier — *Maurice André.*
Acier-Stahl-Steel, 1961, n.º 4, pág. 162-164.

C. D. U. 624.07 [012.4] : 539.374

Esforços de rotura em elementos de betão armado — *J. D'Arga e Lima.*
Memória n.º 178 — L.N E.C., 1961, pág. 181.

C. D. U. 625.14

Adaptation de la voie, de sa pose, de son tracé et des méthodes d'entretien à la circulation très élevée — *M. A Thille.*
Bulletin de l'A. T. des Chemins de fer, 3-962, vol. 39 n.º 3, pág. 109-522.

C. D. U. 656 223.2

La circulation du matériel vide dans les réseaux de chemins de fer — *D. W. Wyrzykowski.*
Bulletin de l'A. I. du Congrés des Chemins de fer, 12-960, vol. 37, n.º 12, pág. 971-1020.

C. D. U. 658.23.001.57

Contrôle des plans d'aménagement d'ateliers à l'aide de maquettes, exemple d'un atelier de bobinage — *Köhli, O.*

Rev. Brown Boveri, t. 47 (1960), n.º 7, pág. 388-392, 4 figuras, 1 tabela.

C. D. U. 658.3

Strutture organizzative per la direzione del Personale — *Aldo Lorenzini.*

Studi Sul Lavoro, 10/12-962, n.º 21, pág. 33-43.

C. D. U. 669.18-83 : 661.937

Équipement électrique de fours Kaldo aux Usines Métallurgiques d'Oxelösund — *Hollander, S.-G.*

Asea-Revue 34 (1962) : 6, pág. 145-148.

C. D. U. 669.715.3.721.782

The constitution of quaternary Aluminium-Copper-Magnesium-Silicon Alloys at 500° C — *D. P. Snith.*

Metallurgia, 5-961, vol. 63, n.º 379, pág. 223-231.

C. D. U. 677.31.021

La modification de la laine par les traitements humides

Les cahiers CIBA, 1962, n.º 6, pág. 48.

C. D. U. 678.01 : 536.495

Résistance thermique superficielle des isolants sous tension — *J. Vannod et R. Herou.*

Industrie des plastiques modernes, 5-961, vol. 3, n.º 5, pág. 30-31.

C. D. U. 678.01 : 539.4

Le tensio-fissuromètre et les indices de fissurabilité des plastiques — *Nguyen-Xuan Lang.*

Industrie des plastiques modernes, 4-962, vol. 14, n.º 3, pág. 53-60.

C. D. U. 678.01 : 539.42

Sur la Rupture Dynamique et Statique des Plastiques — *B. Bossu, P. Dubois.*

Industrie des plastiques modernes, 10-960, vol. 12, n.º 8, pág. 25-30.

C. D. U. 678.674 : 547.473.1

Nouveaux Polyesters à partir de B-Lactones substituées — *R. Thiebaut, N. Fischer, Y. Etienne, J. Coste.*

Industrie des plastiques modernes, 3-962, vol. 14, n.º 2, pág. 13-19.

C. D. U. 678.742.2-943

Les phénomènes d'oxydation des polyéthylènes haute et basse densité au cours de leur mise en oeuvre — *L. Zakrzewski, L. Jacque et P. Dubois.*

Industrie des plastiques modernes, 8/9-960, vol. 12, n.º 7, pág. 49-52.

C. D. U. 678.743.22.027.72-415

Nouveau dispositif pour le maulage des feuilles de PVC — *G. Pagnoni.*

Industrie des Plastiques Modernes, 8-9-960, vol. 12, n.º 7, pág. 74-75.

C. D. U. 678.743.51-134.331.01

Le Viton.

Industrie des Plastiques Modernes, 7-1960, vol. 12, n.º 6, pág. 13-18.

C. D. U. 681.142-83 : 621.3

The Application of Computers in the Electrical Engineering Industry — *J. G. Miles.*

A E I engineering, 7-8-962, vol. 2, n.º 4, pág. 174-178

C. D. U. 681.3 : 615

Los envares de vidrio en la indústria farmacéutica. Estudio de la resistência física superficial de los envares de vidrio, y determinación de la misma — *R. A. Mendoza e M. P. Castro.*

Ion, 8-1962, vol. 22, n.º 240, pág. 2-23.

C. D. U. 691.17

Les application des matières plastiques au Batiment à l'exclusion des revêtements du sol — *Paul Fallard.*

Industrie des Plastiques Modernes, 4-1962, vol. 13, n.º 3, pág. 2-16.

C. D. U. 691.32 : 666.97

Orientaciones para vibrar el hormigon — *Antônio Angulo.*

Obras Públicas, 7-1962, n.º 2967, pág. 465-469.

C. D. U. 691.328.2

Réalisations Françaises récentes en Matière de béton précontraint.

Armales de l'Institut Technique du Batiment et des travaux, 5-962, n.º 173, pág. 91.

C. D. U. 691.54

La ingeniería en el problema de la vivienda — *Juan F. Garcia Balado.*

Instituto del Cemento Portland Argentino, 3-961, n.º 44, pág. 1-31.

C. D. U. 697.94 : 628.39

Instalações de climatização e de aspiração das poeiras na indústria têxtil — *Emilio Hablützel.*

Suíça-Técnica, 1960, vol. 3, pág. 37-45.

C. D. U. 7.011 : 625.7

Modulação na composição de estradas — *A. Ponce Rentinho.*

Binário, 1-1962, n.º 40, pág. 31-46.

C. D. U. 725.4

Bâtiment de l'installation sidérurgique de l'Orénoque (Venezuela) *R. Riva ; C. Nardelli.*

Acier Sthal Steel, 1961, n.º 1, pág. 31-40.

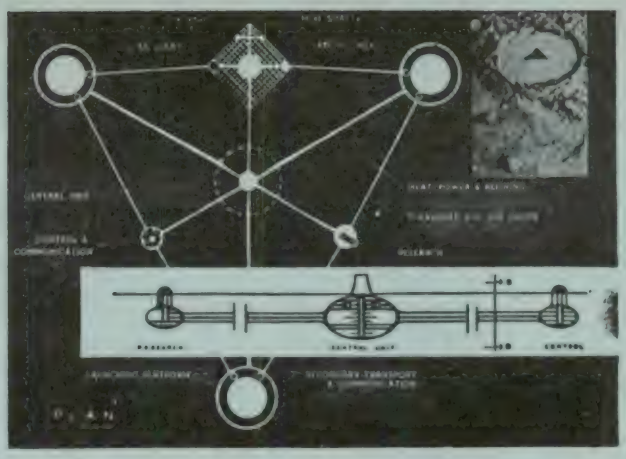
Companhia Cimento Tejo

ALHANDRA

A maior fábrica de cimento da Península

CIMENTOS PORTLAND NORMAIS E ESPECIAIS

FORNOS 4 e 5



A realidade de amanhã depende de investigações e imaginação de hoje. Ambas foram amplamente empregadas neste desenho, demonstrando uma base para naves espaciais na cratera «Aristóteles», perto do polo norte da Lua. A maior parte da base é subterrânea, para reduzir as diferenças de temperatura. O alojamento dos cosmonautas é amplo, possuindo uma piscina, central eléctrica e comunicação com as secções de investigação, por meio de combóio subterrâneo.

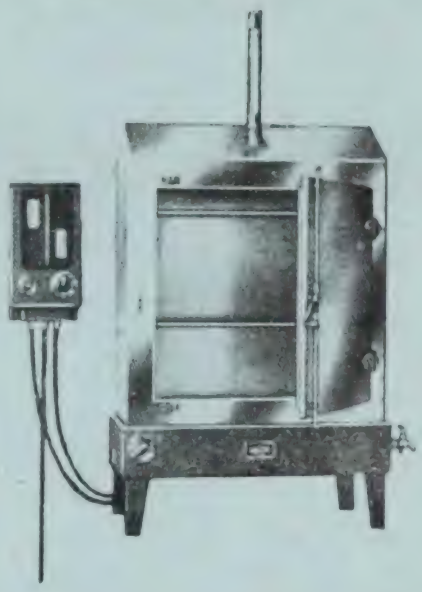
Ninguem sabe quais os sonhos de hoje se transformarão em realidade amanhã. Mas sempre será necessário o emprego dos melhores materiais de desenho para transformar uma ideia em projecto. Hoje, como amanhã, não haverá objecto de desenho mais indicado que a lapiseira MARS-TECHNICO, da marca conhecida pelos técnicos de todo o mundo.

Muitas vezes se consideram perfeitos os instrumentos hoje em uso, ou por hábito ou por desconhecimento de coisas melhores. Mas os técnicos das fábricas J. S STAEDTLER nunca se contentam e continuamente estão em busca de autênticas melhoras, não de novidades passageiras. Assim foram desenvolvidas as lapiseiras MARS-TECHNICO em anos de experiências. A sua forma bem equilibrada evita um cansaço prematuro da mão, e a sua linha aerodinâmica é um triunfo no propósito de reunir conforto no trabalho com beleza. As minas MARS LUMOGRAPH, proporcionando cópias heliográficas perfeitas sem recobertura por tinta de China, elevam as lapiseiras MARS-TECHNICO ao ideal e fundamentam a sua preferência universal.

N.º 2886 Lápis MARS-LUMOGRAPH, 19 graduações
N.º 1904 Minas MARS-LUMOGRAPH, 18 graduações
N.º 48000 Lapiseiras MARS-LUMOGRAPH, com afia-minas
N.º 48002 Lapiseiras MARS LUMOGRAPH, modelo de bolso

STAEDTLER

ESTUFAS SUECAS DE ALTA QUALIDADE PARA



- Secagem
- Vácuo
- Esterilização
- Incubação
- Humidificação

Entregas imediatas nos

Representantes exclusivos:

MONTERROSO & C.ª, L.DA

Porto
R. do Campo Alegre, 606
Telef. 6 48 95

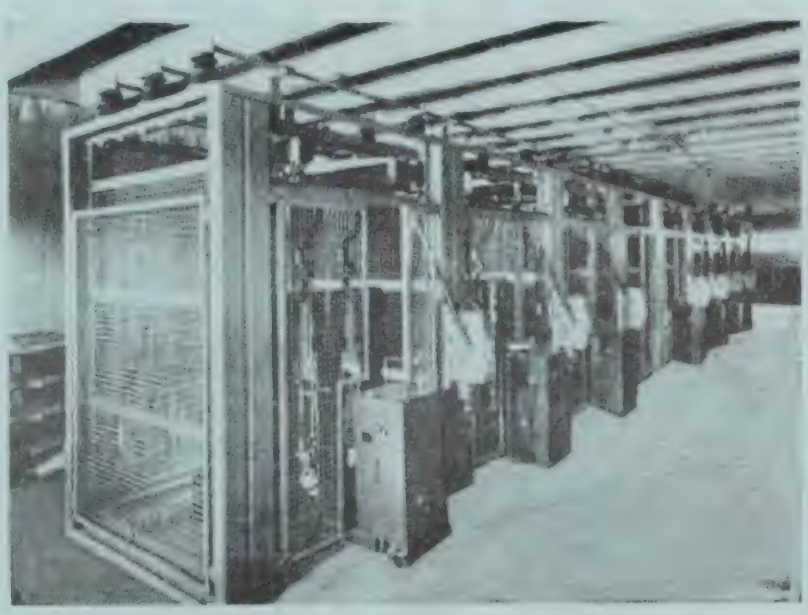
Lisboa
Av. Miguel Bombarda, 59-B
Telef. 55 36 76

ISOLUX L.DA

ESTUDOS E INSTALAÇÕES ELÉCTRICAS

Porto
R. de Sá da Bandeira, 651-4.º
Tel. 2 70 13

Lisboa
R. de Gonçalves Crespo, 33-3.º
Tel. 5 27 41



CELAS ABERTAS DE ALTA TENSÃO

Projectos e instalações eléctricas de:

Centrais

Subestações

Postos de Transformação

Fábricas

Edifícios públicos

Blocos residenciais

ESCAVADORAS—SONDAS

RUSTON-BUCYRUS, LTD.

E

BUCYRUS-ERIE & Co.

125 unidades vendidas em Portugal e no Ultramar

ESCAVADORAS

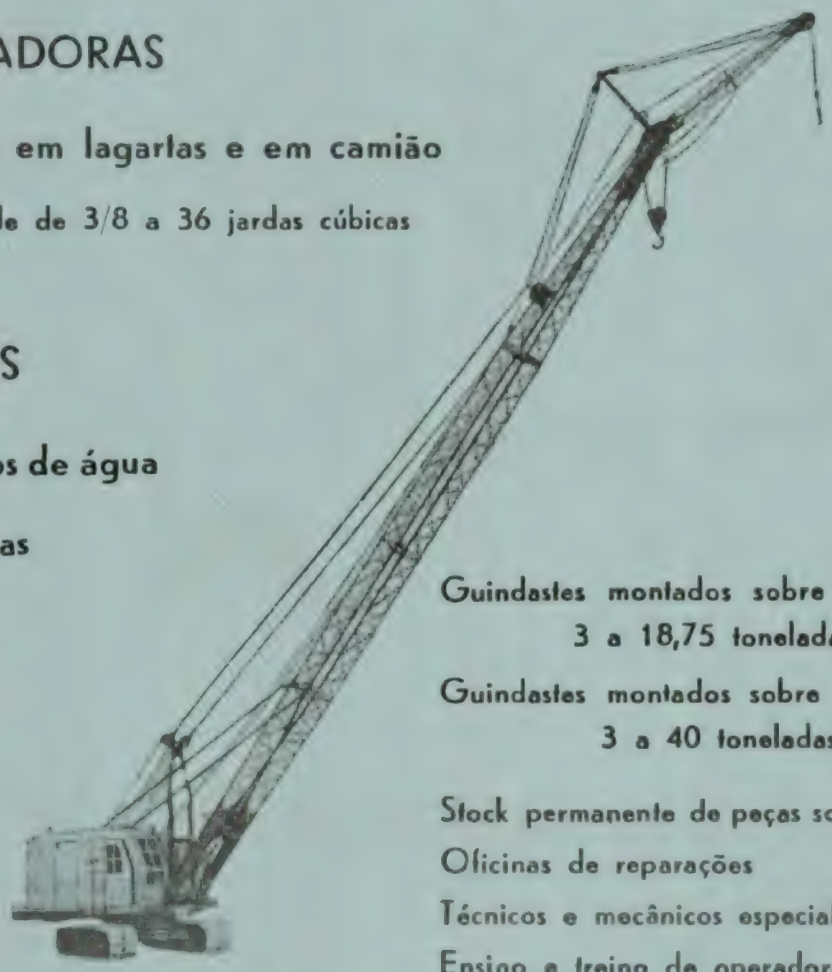
montadas em lagartas e em camião

capacidade de 3/8 a 36 jardas cúbicas

SONDAS

para poços de água

e pedreiras



Guindastes montados sobre camião de 3 a 18,75 toneladas

Guindastes montados sobre lagartas de 3 a 40 toneladas

Stock permanente de peças sobressalentes

Oficinas de reparações

Técnicos e mecânicos especializados

Ensino e treino de operadores

Representantes exclusivos para Portugal e Ultramar

MONTEIRO GOMES, LIMITADA

Rua Cascais, 47 (Alcântara)

LISBOA ✦ LUANDA ✦ LOURENÇO MARQUES

Polyken

EXPERIENCED IN MODERN PROTECTIVE COATING

moderno revestimento anticorrosivo

para todos os diametros de tubagem

213

Representantes:

SOC. COMERCIAL LUSO ITALIANA. LDA

Av. Fontes Pereira de Melo
15-2º Lisboa telef. 538980 538989

LISTA CLASSIFICADA DE ANÚNCIOS

Neste número continua a «Técnica» a sua secção de publicidade — a *lista classificada de anúncios* — destinada a facilitar a procura por parte dos clientes.

Estas páginas amarelas ficam abertas aos nossos leitores, que nelas podem anunciar a sua firma e endereço, ao preço de 50$00 por número. Quanto aos nossos anunciantes, é com muito gosto que lhes concedemos grátis a inscrição na lista.

AUTOMÓVEIS

— **Metalúrgica Duarte Ferreira**
Divisão Berliet — Rua Tomás Ribeiro, 50-A — Lisboa

CONSTRUÇÃO CIVIL

CONSTRUTORES CIVIS

— **Agro-Mecânica**
R. Rodrigo da Fonseca — Lisboa

— **Fundações Franki**
R. Braamcamp, 13-3.º — Lisboa — Tel. 73 41 12.

— **Soc. Const. Amadeu Gaudêncio**
R. Dr. Alexandre Braga, 4-A — Lisboa
Tel. 4 31 91 — 4 31 92

— **Construções Técnicas, Ld.ª**
Pr. do Município, 13-3.º — Lisboa — Tel. 36 65 09.

— **Soc. de Pré-Fabricação e Obras Gerais Novobra**
Av. Estados Unidos da América, Lote 3, 5.º D. — Telef. 77 48 32 / 76 64 46 — Lisboa 5

ESCAVADORAS

— **Guedes & Almeida**
R. de S. Nicolau, 71-4.º — Tel. 2 50 80 — Lisboa.

— **Soc. Técnica de Equipamentos e Tractores, Ld.ª**
Prior Velho — Sacavém — Tel. 2 51 00 01/4.

— **SMEIA**
Av. Padre Manuel da Nobrega, 8-B-1.º

— **Monteiro Gomes, Ld.ª**
Rua Cascais, 47 (Alcântara).

ESTORES

— **NACO SUN SASH — Janelas de lâminas articuladas — ECOMAR**
R. de S. Julião, 62-2.º

FUNDAÇÕES

— **Construções Técnicas, Lda.**
Pr. do Município, 13-3.º — Lisboa — Tel. 36 65 09.

— **Fundações Franki**
R. Braamcamp, 13-3.º — Lisboa — Tel. 73 41 12.

— **Empresa de Sondagem e Fundações Teixeira Duarte, Ld.ª.**
Pr. da Figueira, 18, 3.º — Lisboa — Tel. 36 27 95.

— **Empresa Ultramarina de Sondagens e Fundações**
Pr. da Figueira, 18-3.º Esq. — Lisboa — Luanda — Lourenço Marques

— **Sondagens e Fundações, A. Cavaco, Lda.**
R. Rodrigo da Fonseca, 62-r/c — Lisboa 1
Tel. 55 38 73 — 5 95 62 — 73 35 45.

IMPERMEABILIZAÇÃO

— **Anselmo de Matos**
Av. Almirante de Reis, 179, r/c — Lisboa 1 — Telef. 4 64 39.

— **Empresa de Produtos Asfálticos**
R. Filipe Folque, 10-1.º — Lisboa — Tel. 73 01 56.

— **Orlando Fernandes**
Rua Palmira, 46-A-B-C — Lisboa 1 — Tel. 83 01 63 e 84 26 39.

INSTRUMENTOS DE PRECISÃO

— **Emílio de Azevedo Campos, Ld.ª — Kern**
R. Antero de Quental, 17

— **Pimentel & Casquilho**
R. Jardim do Regedor, 24, 2.º
Lisboa-2 — Tel. 32 43 14 — 32 42 48.

— **Wild Portugal, Ld.ª**
Praça das Águas Livres, 8, s/l 6 — Lisboa 2 — Tel. 68 11 27.

ISOLAMENTO ACÚSTICO

— **Isola**
Av. António Augusto de Aguiar, 17 — Lisboa — Tel. 4 78 24 - 4 16 97.

ISOLAMENTO TÉRMICO

— **SETH, Ld.ª**
R. Filipe Folque, 10-1.º — Lisboa — Tel. 73 01 56.

MOBILIÁRO

— **Fábrica Portugal**
R. Febo Moniz

SONDAGENS

— **Construções Técnicas, Lda.**
Pr. do Município, 13-3.º — Lisboa — Tel. 36 65 09.

— **Empresa de Sondagens e Fundações Teixeira Duarte, Ld.ª**
Pr. da Figueira, 18, 3.º — Lisboa — Tel. 36 27 95.

— **Empresa Ultramarina de Sondagens e Fundações**
Pr. da Figueira, 18-3.º Esq. — Lisboa — Luanda — Lourenço Marques

— **Fundações Franki**
R. Braamcamp, 13-3.º — Lisboa — Tel. 73 41 12

— **Sondagens e Fundações, A. Cavaco Lda.**
R. Rodrigo da Fonseca, 62-r/c — Lisboa 1
Tel. 55 38 73 — 5 95 67 — 73 35 45.

— **Sondagens Ródio, Ld.ª**
R. de S. Mamede ao Caldas, 22-3.º — Lisboa — Tel. 85 71 65/7.

CONSTRUÇÕES METALO-MECÂNICAS

CONSTRUTORES METALO-MECÂNICOS

— **Companhia União Fabril**
Av. 24 de Julho, 170 — Lisboa 2 — Tel. 67 04 21

— **Construções Metalo-mecânica MAGUE, Ld.ª** — Alverca

— **Jayme da Costa, Ld.ª**
R. dos Correeiros, 14 — Lisboa — Tel. 32 70 35.
Praça da Batalha, 12 — Porto — Tel. 2 28 12.
Cx. Postal 5174 — Luanda — Tel. 47 43.

— **Sociedade Industrial Metalúrgica**
R. de S. Tiago, 1

— **Soc. Louis de Roll — Representante Socotel**
R. Sá da Bandeira, 651-4.º — Lisboa

EDIÇÕES TÉCNICAS

— **Revista TÉCNICA**
Av. Rovisco Pais.

EQUIPAMENTO ELÉCTRICO

— **ASEA**
Rua de Artilharia Um, 104-4.º Dt. — Lisboa — Tel. 68 90 17/8/9.
R. do Campo Alegre, 144, Porto — Tel. 6 21 06/9

— **EFACEC — Empresa Fabril de Máquinas Eléctricas**
S. Mamede de Infesta.

— **Jayme da Costa, Ld.ª**
R. dos Correeiros, 14 — Lisboa — Tel. 32 70 35.
Praça da Batalha, 12 — Porto — Tel. 2 28 12.
Cx. Postal 5174 — Luanda — Tel. 47 43.

— **Philips Portuguesa**
R. Joaquim António Augusto de Aguiar, 66 — Lisboa.

— **Siemens — Comp. de Electricidade, SARL**
Lisboa — Av. Almirante Reis, 65
Porto — R. das Carmelitas, 12.

— **Soc. de Elec. Brown Boveri**
R. Sá da Bandeira, 481-2.º — Tel. 2 34 11 — Porto

— **Sociedade Michäelis de Vasconcelos, Ld.ª — Oerlikon**
Av. Marquês de Tomar, 94 — Lisboa.
P. da Liberdade, 114 — Porto.

— **União Eléctrica Portuguesa**
R. Alexandre Herculano, 244 — Porto.
R. Rosa Araújo, 35 — Lisboa.

DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA

— **União Eléctrica Portuguesa**
R. Alexandre Herculano, 244 — Porto.
R. Rosa Araújo, 35 — Lisboa.

ELÉCTRODOS

— **Electro-Arco, Ld.ª**
R. Silva Carvalho, 239 — Lisboa — Tel. 68 36 49.
R. do Bolhão, 216 — Porto — Tel. 2 12 77.

INSTALAÇÕES

— **Electrotécnicos Reunidos, Ld.ª**
Lisboa

— **Isolux, Lda.**
R. Gonçalves Crespo, 33, 3.º — Lisboa
R. de Sá da Bandeira, 551, 4.º — Porto.

INSTRUMENTOS DE MEDIDA

— **C. Santos, Ld.ª**
29, Av. da Liberdade, 41 — Lisboa.

— **Jayme da Costa, Ld.ª**
R. dos Correeiros, 14 — Lisboa — Tel. 32 70 35.
Praça da Batalha, 12 — Porto — Tel. 2 28 12.
Cx. Postal 5174 — Luanda — Tel. 47 43.

ISOLAMENTOS

— **Empresa Electro-Cerâmica, S.A.R.L.**
L. Barão de Quintela.

SOLDADURAS

— **Electro Arco**
R. Silva Carvalho, 239 — Lisboa
R. do Bolhão, 216 — Porto

TELECOMUNICAÇÕES

— **Empresa Técnica de Equipamentos Eléctricos, S.A.R.L.**
R. Rodrigo da Fonseca, 110, r/c — Lisboa — Tel. 68 60 72.
R. Sá da Bandeira, 766-1.º E — Porto — Tel. 2 48 18.

— **Standard Eléctrica, S.A.R.L.**
Av. da Índia — Lisboa.

EQUIPAMENTO INDUSTRIAL

APARELHOS DE ELEVAÇÃO

— **Demag — Soc. Romar**
Rua da Boa Vista — Lisboa

BOMBAS

— **CIDEX — Comércio Internacional e Representações Industriais**
Av. Casal Ribeiro, 46-2.º-Tel. 73 53 07-Lisboa 1

— **Vasco Pessoa, Lda.**
Rua da Boa Vista, 63 — Lisboa 2

CORRENTES

— **RENOLD**
Harker, Sumner & C.ª, Ld.ª
Largo do Corpo Santo, 14-18 — Lisboa.
Rua de Ceuta, 38-48 — Porto.

ESTUFAS

— **Monterroso & C.ª, Ld.ª — Electro-Helios**
R. do Campo Alegre, 606 — Porto
Av. Miguel Bombarda, 59-B — Lisboa

MÁQUINAS-FERRAMENTAS

— **Georges Fischer — Soc. An. — Suíça — Representante Soc. Romar**
R. da Boa Vista — Lisboa

— **Sociedade Comercial ROMAR, Ld.ª**
Lisboa.

MOTORES INDUSTRIAIS

— **C. Santos, Ld.ª**
29, Av. da Liberdade, 41 — Lisboa.
160, R. de Santa Catarina, 168 — Porto.

INDÚSTRIAS QUÍMICAS

BORRACHAS

— **Quimicor**
R. Sociedade Farmaceutica, 3 — Lisboa.

COLAS

— **Araldite**

EQUIPAMENTO

— **Filtros Filfro, Ld.ª**
R. Capitão Filipe de Sousa, 128, Caldas da Rainha.

FELTROS

— **FANAFEL — Fábrica Nacional de Feltros Industriais**
Estrada de S. João — Ovar — Tel. 93

LUBRIFICANTES

— **B. P.**
— **Mobil Oil**
— **Silicones - Wacker - Chemie - G. M. B. H. Química Holchst**
Av. Duque de Ávila, 169-1.º — Lisboa.

REVESTIMENTOS

— **NEODON — Agência Comercial, Limitada**
Travessa do Loureiro, 3 — Lisboa — Tel. 4 90 54

— **POLYKEN — Sociedade Comercial Luso-Italiana, Lda.**
Avenida Fontes Pereira de Melo, 15-2.º — Tel. 53 89 80 e 53 89 89

TÊXTEIS

— **FANAFEL — Fábrica Nacional de Feltros Industriais, Ld.ª**
Estrada de S. João — Ovar.

INSTRUMENTOS DE PRECISÃO

— **Pimentel & Casquilho, Ld.ª**
Rua do Jardim do Regedor, 24, 2.º — Lisboa
Tel. 32 43 14 — 32 42 48.

— **Hidrel — Técnica de Hidráulica e Electricidade**
Rua do Alecrim, 47-B — Lisboa

MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

AÇOS ESPECIAIS

— **A. Johnson & C.ª (Portugal), Ld.ª**
P. José Fontana, 11-1.º — Lisboa — Tel. 47964-4 79 93-4 79 97.
R. Dr. António Granjo, 160/168-Porto-Tel. 5 46 66

— **Companhia Portuguesa de Trefilaria**
R. do Instituto Industrial, 18-1.º, Dt.º — Lisboa
Tel. 67 12 24/5.

— **Companhia Portuguesa de Fornos Electricos**
L. S. Carlos, 4-2.º

— **SOABAL — Sociedade de Aços para Betão Armado, Ld.ª**
R. Joaquim Bonifácio, 2-1.º-Lisboa-Tel. 40 5 66.

— **Soc. Construções Amadeu Gaudêncio**
R. Dr. Alexandre Braga, 4-A — Lisboa
Tel. 4 31 91-4 31 92.

BETAO

— **Companhia Portuguesa de Trefilaria**
R. do Instituto Industrial, 18-1.º, Dt.º — Lisboa
Tel. 67 12 24/5.

— **Sociedade Portuguesa CAVAN**
R. de D. Estefânia, 94-A — Lisboa — Tel. 4 78 12 e 5 01 29.

— **Sociedade Comercial Romar, Lda.**
Rua da Boa Vista, 83, 1.º D. — Lisboa

BETÃO ARMADO

— **SOABAL — Sociedade de Aço para Betão Armado, Ld.ª**

R. Joaquim Bonifácio, 2-1.º-Lisboa-Tel. 4 05 66.

CIMENTOS

— **CIBRA — Cimentos Brancos**
Tv. do Corpo Santo, 15 — Lisboa — Tel. 32 04 64.
R. do Bonjardim, 205 — Porto — Tel. 2 57 79.

— **Empresa de Cimentos de Leiria**
R. Braamcamp, 7 — Lisboa — Tel. 5 91 61/66.

— **Secil**
R. do Comércio, 156—Lisboa 2—Tel. 32 82 01/2/3.

MATERIAL DE ESCRITÓRIO

— **J. S. Staedler**
W. Schmidt — R. Fialho de Almeida, 40-A
Tel. 5 10 74 — Lisboa

— **The Modern Office**
R. do Alecrim, 107 — Tel. 32 34 65 — Lisboa

MOTORES DIESEL

— **C. Santos, Ld.ª**
29, Av. da Liberdade, 41 — Lisboa.
160, R. dè S. Catarina, 168 — Porto

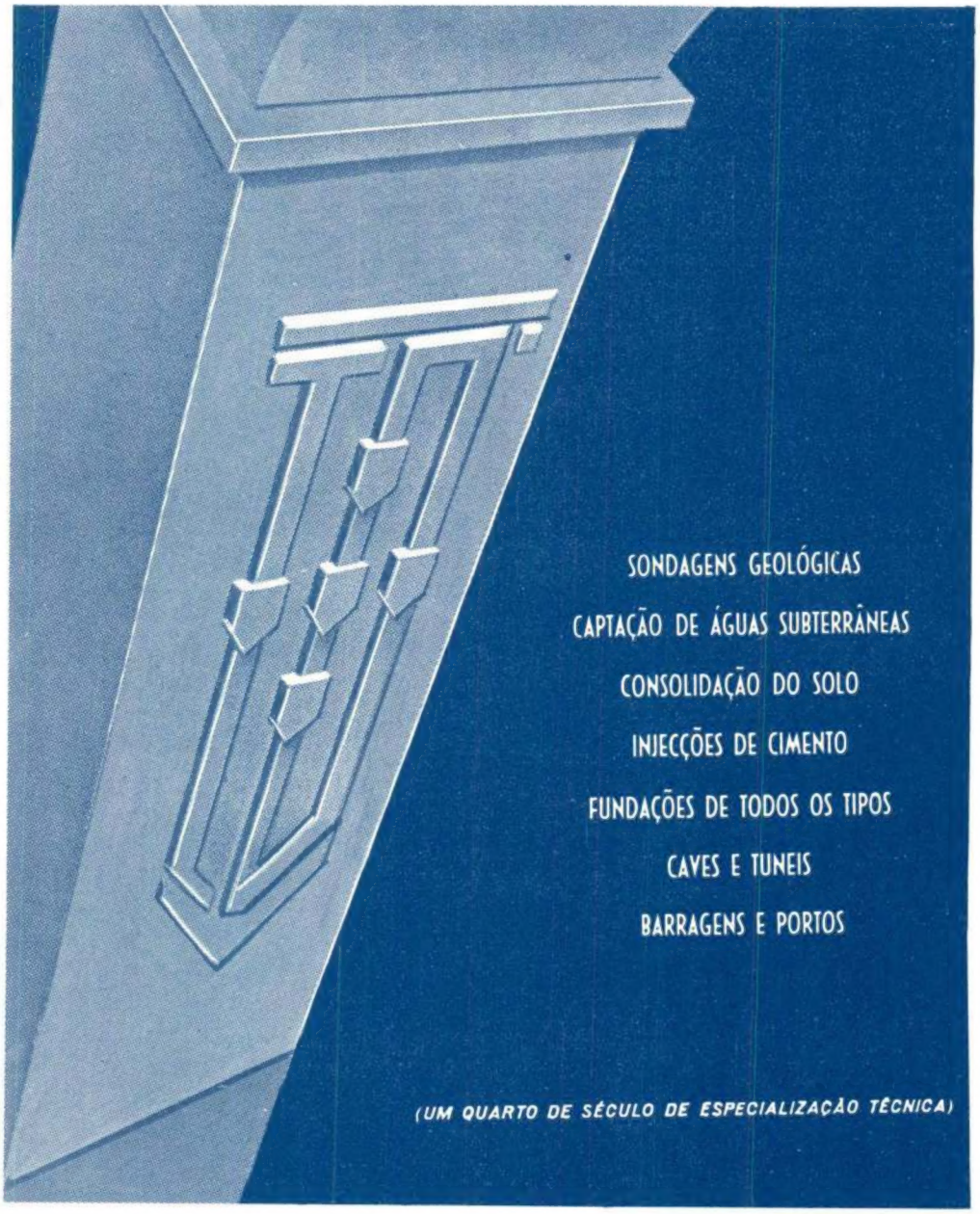
— **Electro Central Vulcanizadora, Ldª. — Cummins**
Av. 24 de Julho, 6 — Tel. 66 11 76
P. D. João I, 28 — Tel. 2 30 22 — Porto

Empresa de Sondagens e Fundações

TEIXEIRA DUARTE, L.DA

PR. DA FIGUEIRA, 18. 3.º
TELEF. 36 27 95

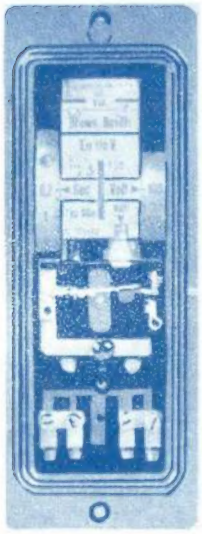
LISBOA

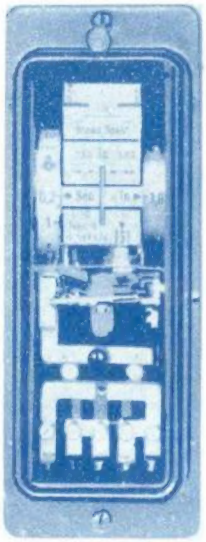


Fotogravura
Armeis & Moreno, Lda.

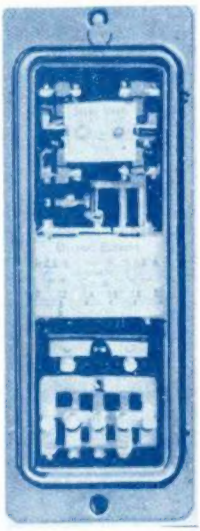
Protegei as vossas máquinas, aparelhos, e instalações, dos perigos externos e internos utilizando relés

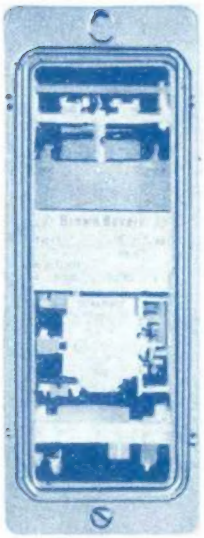
BROWN BOVERI


Sobretensão


Sobrecarga curto-circuito

Sobrecarga térmico


Sobrecarga instantâneo


Frequência

Cargas assimétricas

Diferencial

Terra

Os nossos Serviços Técnicos podem auxiliar a resolver os vossos problemas sobre protecções.

SOC. DE ELECT. **BROWN BOVERI**, LDA.

RUA DE SÁ DA BANDEIRA, 481 – 2.º • TEL. 23411 • PORTO